UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

QUANTIFICAÇÃO DAS RAÍZES FINAS EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L., NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Vicente Guilherme Lopes

Santa Maria, RS, Brasil

2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

QUANTIFICAÇÃO DAS RAÍZES FINAS EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L., NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS

por

Vicente Guilherme Lopes

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2009

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

QUANTIFICAÇÃO DAS RAÍZES FINAS EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L., NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS

elaborada por
Vicente Guilherme Lopes

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn.
(Presidente/Orientador)

Ivanor Müller, Dr. (UFSM)

Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2009.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor.”

(Johann Wolfgang von Goethe)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Nida Rosalina Lopes e

Valdir Jose Lopes

Aos meus familiares e amigos

Dedico este Trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, por esta oportunidade e pela orientação, incentivo, amizade e confiança.

Ao Prof. Dr. Peter Trüby da Albert Ludvig Universität-Freiburg / Alemanha, pelas sugestões, amizade e confiança.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

À Empresa CAMBARÁ S.A. pela disponibilização da área para coletas das amostras, principalmente nas pessoas dos Engenheiros Florestais Vandir Zancan, Leonir Barichello e do Técnico Agropecuário Evandro Viero e sua equipe de campo.

Ao Professor do Departamento de Ciências Florestais Dr. Solon J. Longhi.

Ao Professor do Departamento de Estatística Dr. Ivanor Müller.

À Cerlene Machado, secretária do PPGEF, pelo apoio logístico e amizade.

Ao Msc. Eng. Florestal Rudi Witschoreck pelas sugestões, compreensão, conselhos e amizade.

Ao Eng. Florestal Márcio Viera pelo auxílio na obtenção dos dados e sugestões.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, responsáveis pelas análises químicas, Vitor, Anderson, Francine, Luana, Débora e Bruna.

Pelo auxílio na obtenção das imagens digitais e companheirismo, aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Eduardo, Denise, Raquel, Carla, Débora, Mirian, Monique.

Ao colega de laboratório Edenilson Liberalesso, pela dedicação e incansável auxílio nas coletas de campo e processamento dos dados.

À colega de pós-graduação Engª. Ftal. Elisabete Vuaden, pela amizade, presença, incentivo e sugestões.

A Profª. Drª. Francine Calil, pela amizade, incentivo e sugestões.

Ao amigo Jairo Neto, pela torcida e compreensão.

Aos que não acreditaram no potencial deste sonho ..., obrigado!

Aos meus pais, meus sogros e minha família pelo incondicional apoio e incentivo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUANTIFICAÇÃO DAS RAÍZES FINAS EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L., NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RS

AUTOR: VICENTE GUILHERME LOPES
ORIENTADOR: DR. NAT. TECHN. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de fevereiro de 2009.

O presente estudo foi realizado no município de Cambará do Sul, RS, Brasil. Os objetivos do trabalho foram: quantificar comparativamente, o comprimento e a biomassa de raízes finas (≤ 2,0 mm) no solo e na serapilheira e relacionar comparativamente, variáveis químicas e físicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* L., com 15 anos de idade, e uma área de campo adjacente. A obtenção das amostras foi realizada através do método de monolitos descrito por Böhm (1979), a partir da escavação de 3 monolitos de 25 cm x 25 cm x 40 cm em cada área. As raízes foram separadas do solo através de lavagem e catação e, na seqüência, foram distribuídas sobre uma folha de papel branca, onde com o auxílio de uma câmera digital, apoiada em um suporte de altura fixa, obtiveram-se 2.045 imagens digitais. Com o auxilio de um software, as imagens foram processadas para quantificação do comprimento das raízes. Após, as raízes foram secas em estufa e, depois, pesadas para determinação da biomassa. O comprimento total de raízes finas no *Pinus*, no perfil de 40 cm do solo, incluindo-se a camada de serapilheira, foi de 68412 km ha^{-1}, sendo que, a maior parte dessas se concentrou nos primeiros 20 cm de profundidade e na serapilheira. Na área de campo, o comprimento total de raízes finas, no perfil de 40 cm do solo, foi de 173550 km ha^{-1}, 42,82% (74313 km ha^{-1}) desse comprimento localiza-se na camada de 0 - 10 cm de profundidade. A densidade de raízes no campo é 234,28% maior do que no *Pinus,* destacando-se a camada de 0 - 10 cm, onde ocorreu a maior diferença. No *Pinus* até a profundidade de 40 cm, foram contabilizados 3,52 Mg ha^{-1} para biomassa de raízes finas. A área de campo apresentou 5,63 Mg ha^{-1}, ou seja, praticamente o dobro da biomassa de raízes finas presente no *Pinus.* Nas duas áreas, as condições químicas do solo apresentaram maior correlação com o comportamento do comprimento e biomassa de raízes. No *Pinus,* destaca-se como principais fatores o P>K>V>Mg>Ca, por outro lado, na área de campo, destacam-se P>K>Ca>Mg>V. A grande presença de raízes finas na serapilheira do *Pinus* destaca a importância desta camada no processo de ciclagem, disponibilização de nutrientes e água. Após a colheita florestal, deve-se manter a camada de serapilheira e dos resíduos produzidos durante essa atividade, visando à manutenção do potencial produtivo do solo.

Palavras-chave: *Pinus taeda*; campo; raízes finas; comprimento; biomassa, solo; nutrientes.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUANTIFICATION OF FINE ROOTS IN A *Pinus taeda* L. STAND IN CAMPOS DE CIMA DA SERRA REGION, RS

AUTHOR: VICENTE GUILHERME LOPES
ADVISER: DR. NAT. TECHN. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Date and Place of the Defence: Santa Maria, February 20th, 2009.

This study was conducted at Campos de Cima da Serra physiographic region, Cambará do Sul, RS, Brazil. The objectives of these study were: to comparatively quantify, the length and the biomass of fine roots (≤ 2,0 mm) inside the soil and in the litter and relate comparatively, soil chemical and physical variables in a *Pinus taeda* L., with 15 years of age, stand, implanted in a 3 x 2 m spacing, in 1993 and in a native grass area close to it. Samples were obtained through the use of monoliths methods described by Böhm (1979), based on the digging 3 monoliths (25 cm x 25 cm x 40 cm each), distributed inside the stand and 3 in native grass area. Roots were separated from the soil through washing and catching; after they were distributed over a white sheet of paper, where with a digital camera supported by a support with fixed height, 2.045 images were obtained. With the aid of the software, the images were processed to quantify roots length. After this procedure, the roots were dried in an oven and then weighed for biomass determination. Fine roots total length in *Pinus* stand, in 40 cm soil profile, including litter layer, was 68413 km ha^{-1}, where the most part of them was concentrated in the first 20 cm and in the litter. In native grass area, the total length in 40 cm soil profile, was 173550 km ha^{-1}, 42,82% (74313 km ha^{-1}) of the total length is concentrated in the layer 0 – 10 cm. The roots density in native grass is 234, 28% higher than in *Pinus.* In *Pinus* until 40 cm depth, 3,52 Mg ha^{-1} was counted for fine roots biomass. Native grass showed 5,628 Mg ha^{-1}, almost twice of fine roots biomass in *Pinus*. In both areas, soil chemical conditions, showed correlation with roots length and biomass. In *Pinus*, the main factors were P>K>V>Mg>Ca, on the other hand, in native grass area, the main factors were P>K>Ca>Mg>V. The great presence of fine roots in Pinus litter is important for cycling process, nutrients and water availability. After forest harvesting, litter and residues layer should remain, aiming the maintenance of soil productive potential.

Key-words: *Pinus taeda*; native grass; fine roots; length; biomass; soil; nutrients.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Números utilizados na ACP em substituição ao nome original das variáveis analisadas. 44
TABELA 2 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da densidade de comprimento de raízes finas (cm cm^{-3}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS..... 47
TABELA 3 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da biomassa de raízes finas (kg ha^{-1}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS. 49
TABELA 4 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da densidade de biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo, no município de Cambará do Sul, RS. 51
TABELA 5 - Densidade do solo e análise textural de amostras de solo das camadas de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm, obtidas no *Pinus taeda* L. e na área de campo adjacente, no município de Cambará do Sul, RS. 52
TABELA 6 - Análise química de amostras de solo das camadas de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm, obtidas no *Pinus taeda* L. e na área de campo adjacente, no município de Cambará do Sul. 53
TABELA 7 - Resultado da matriz de correlação entre as variáveis analisadas no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS. 55

TABELA 8 - Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas, no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS. 56
TABELA 9 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores considerados na análise, no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS. 57
TABELA 10 - Resultado da matriz de correlação entre as variáveis analisadas na área de campo, no município Cambará do Sul, RS. 62
TABELA 11 - Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS. 63
TABELA 12 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores considerados na análise, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS. 64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Comparação entre os sistemas radiculares do *Pinus* e de uma gramínea. Fonte: Adaptado de Gonçalves e Mello (2005). 22
FIGURA 2 – Produção de raízes em diferentes espécies arbóreas em solos hidromórficos de transição, na região da Bavária, Alemanha. Adaptado de Polomski e Kuhn (1998). 32
FIGURA 3 - Localização do município de Cambará do Sul, RS. Fonte: Modificado de FEE, 2008. Organizador: Viera, M. (2008). 37
FIGURA 4 - Croqui de localização das áreas experimentais no povoamento de *Pinus taeda* L. e no campo adjacente. Cambará do Sul, RS. Fonte: Google Earth (2008)..... 38
FIGURA 5 – Etapas da coleta e processamento das amostras. Adaptado de Polomski e Kuhn (1998). 41
FIGURA 6 - Visão do programa UTHSCSA, Image Tool for Windows version 3.00© (2002), durante a rotina de quantificação do comprimento de raízes finas. 43
FIGURA 7 - Comprimento (km ha^{-1}) de raízes finas no perfil do solo para um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS. 45
FIGURA 8 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, no povoamento de *Pinus,* no município de Cambará do Sul, RS (B). 58

FIGURA 9 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo como variáveis explicativas e o comprimento e a biomassa de raízes como variável resposta (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, no povoamento de *Pinus,* no município de Cambará do Sul, RS (B). 61
FIGURA 10 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS (B). 66
FIGURA 11 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo como variáveis explicativas e o comprimento e a biomassa de raízes como variável resposta (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS (B). 68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais		
Número	Descrição	Unidade
1	Matéria Orgânica	%
2	pH (H_2O)	
3	Al	$cmol_c\ dm^{-3}$
4	H + Al	$cmol_c\ dm^{-3}$
5	CTC efetiva	$cmol_c\ dm^{-3}$
6	CTC pH 7	$cmol_c\ dm^{-3}$
7	P (Disponível)	$mg\ dm^{-3}$
8	K (Disponível)	$mg\ dm^{-3}$
9	Ca (Trocável)	$cmol_c\ dm^{-3}$
10	Mg (Trocável)	$cmol_c\ dm^{-3}$
11	Saturação por alumínio (m)	%
12	Saturação por bases (V)	%
13	Areia	%
14	Silte	%
15	Argila	%
16	Densidade de raízes finas	$cm\ cm^{-3}$
17	Biomassa de raízes finas	$kg\ ha^{-1}$
18	Densidade do solo	$g\ cm^{-3}$

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Fotos da coleta de raízes finas no povoamento de *Pinus taeda* L. e na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS. 81

APÊNDICE B - Fotos do processo de quantificação do comprimento e da biomassa das raízes finas coletadas, no povoamento de *Pinus taeda* L. e na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS. 82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **17**
2 REVISÃO DE LITERATURA **20**
2.1 Sistema radicular de espécies arbóreas e gramíneas **20**
2.1.1 Estrutura, desenvolvimento e arquitetura radicular 21
2.1.2 Ciclagem através da serapilheira 26
2.1.3 Características edáficas e o crescimento radicular 29
2.2 Aspectos silviculturais do *Pinus* **31**
2.3 Fisionomia dos Campos de Cima da Serra **32**
2.4 Análise multivariada – fatorial e componentes principais **34**
3 MATERIAL E MÉTODOS **37**
3.1 Localização e caracterização da área de estudo **37**
3.2 Histórico da área do estudo **39**
3.2.1 Caracterização do povoamento de *Pinus* 39
3.2.2 Caracterização da área de campo 39
3.3 Amostragem do solo com raízes **40**
3.4 Lavagem e separação de raízes **42**
3.5 Amostragem da análise de solo **42**
3.6 Estimativa do comprimento e da biomassa de raízes **43**
3.7 Análise estatística **44**
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **45**
4.1 Comprimento e densidade de raízes finas **45**
4.2 Biomassa de raízes finas **48**

4.3 Relação das características químicas e físicas do solo com o comprimento e a biomassa de raízes finas, no povoamento de *Pinus* e na área de campo. 52
4.4 Análise de Componentes Principais (ACP) nas quatro profundidades do solo, no povoamento de *Pinus* e na área de campo 54
4.4.1 Análise de Componentes Principais (ACP) para o povoamento de *Pinus.*..... 54
4.4.2 Análise de Componentes Principais (ACP) para a área de campo..... 62
5 CONCLUSÕES 69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a implantação de maciços florestais puros, na grande maioria formados por espécies exóticas, surge como consequência da evolução de toda uma estrutura industrial, que tem como objetivo atender à demanda das regiões mais desenvolvidas do país, com matéria prima necessária para a produção de papel, celulose, chapas, aglomerados, carvão vegetal, móveis, etc. (SCHUMACHER et al., 2002a).

As diversas espécies de *Pinus* atualmente plantadas nas regiões sul e sudeste do Brasil são de introdução relativamente recente, por volta de 1954, e visam principalmente substituir a madeira de *Araucaria angustifolia* cujos povoamentos naturais achavam-se em rápido processo de exaustão. Os plantios de *Pinus* foram acelerados a partir de 1966, com a implantação da política de incentivos fiscais, sendo que em 1975, dos 459.000 hectares implantados no estado de São Paulo, cerca de 190.000 hectares eram do gênero *Pinus* (MONTAGNA; YAMAZOC, 1978).

Atualmente o país vivencia um novo período de expansões no setor florestal, impulsionado pela crescente demanda e preços atrativos, principalmente associados à indústria de celulose e papel, painéis, siderurgia e carvão vegetal. As vantagens silviculturais do país e decorrentes de pesquisas desenvolvidas revelam vantagens comparativas e competitivas, atraindo investimentos na ordem de US$ 12 bilhões para tais projetos, na última década. A área de *Pinus* plantada no Brasil em 2007 era de 1.808.336 ha, sendo 182.378 ha no Rio Grande do Sul (ABRAF, 2008).

A utilização de espécies exóticas, como o *Pinus*, o adensamento de plantas, as técnicas de preparo do solo, bem como a intensidade de colheita florestal, são algumas das práticas silviculturais que podem ser controladas através do conhecimento da produção de biomassa e distribuição dessa nas diversas partes da planta, incluindo-se as raízes, com vistas à manutenção da produtividade em longo prazo desses ecossistemas.

Para o setor industrial, o interessante é que a floresta produza a maior quantidade possível de biomassa no componente madeira. No entanto, isso nem sempre é possível, pois dependendo da espécie e das condições de sítio, as

prioridades de alocação dos carbohidratos poderão ser alteradas, o que por sua vez terá um reflexo na produção de biomassa e acúmulo de nutrientes nos diferentes componentes das árvores. Podem ser considerados como compartimentos a biomassa aérea das árvores, a serapilheira acumulada sobre o solo, o comprimento e a biomassa das raízes, a vegetação do sub-bosque e o solo (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000).

Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva que extrai substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea e a decomposição da biomassa morta que inclui serapilheira e raízes (SANCHEZ,1976; GONZÁLEZ; GALLARDO, 1986).

Os povoamentos de *Pinus* são considerados como pouco exigentes em termos nutricionais. Podem ser observadas plantas de *Pinus* crescendo em beiras de estrada, com as raízes arraigadas em horizontes sub-superficiais, sem apresentar sintomas de deficiência nutricional a não ser uma menor taxa de crescimento. Porém, plantas crescidas nessas condições certamente não apresentam desenvolvimento economicamente satisfatório (REISSMANN; WISNIEWSKI, 1999).

Diversos trabalhos demonstram existir condições edáficas que podem ser limitantes ao crescimento da espécie. Nesse sentido, a necessidade de caracterização dos solos e aspectos relacionados à autoecologia dos plantios com a espécie se tornou premente, visando a não exaustão dos sítios onde havia plantios. O conhecimento de aspectos relativos à ecologia da espécie, quanto à exportação e ciclagem de nutrientes, morfologia e química dos horizontes orgânicos, as relações dos povoamentos com o ambiente natural, a produção de biomassa acima e abaixo do solo, entre outros, se fazem necessários visando entender o comportamento da espécie e suas inter-relações com os demais elementos naturais.

Estudos sobre as características do sistema radicular e dos princípios da sustentabilidade nas florestas são de fundamental importância para o entendimento do equilíbrio ecológico desses ecossistemas. As informações da configuração do sistema radicular servem como subsídio para elucidar as interações fisiológicas básicas, principalmente aquelas relacionadas com a nutrição e o balanço hídrico das árvores, fornecendo-nos informações para a manutenção da capacidade produtiva desses sítios, sendo de extrema relevância no planejamento da atividade florestal.

O conhecimento da biomassa de raízes e a sua distribuição no solo é um importante aspecto que auxilia no entendimento das relações existentes entre elas, a parte aérea das plantas e as características edáficas, principalmente no que se refere aos padrões de absorção de água e nutrientes por parte dos indivíduos (SAINJU; GOOD,1993). Estudos mais detalhados sobre o sistema radicular das plantas, ao contrário dos estudos realizados na parte aérea, são mais trabalhosos, dificultando sua realização. Os mesmos autores indicam certo atraso na pesquisa do sistema radicular, possivelmente pelas dificuldades metodológicas e sugerem que fosse dada uma maior atenção ao assunto.

Conforme Schumacher (2009), o conhecimento da dinâmica de raízes finas (comprimento, biomassa e conteúdo nutricional) presentes nas camadas superficiais do solo e na serapilheira, é de extrema relevância. A partir desses dados, é possível prever prováveis impactos decorrentes de atividades que propendem à diminuição do risco de incêndios, como queima controlada e gradagem, que visam à diminuição da camada do material combustível presente no piso florestal.

O presente estudo teve como objetivo geral quantificar e comparar comprimento e biomassa de raízes finas (≤ 2 mm) na serapilheira e no solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L., com 15 anos de idade, e em uma área de campo na região dos Campos de Cima da Serra, de forma a contribuir para o levantamento de informações básicas utilizadas no planejamento adequado de plantações florestais com finalidade econômica, e os seguintes objetivos específicos:

- Quantificar o comprimento de raízes finas no solo e na serapilheira de um povoamento de *Pinus taeda* L. e de uma área de campo adjacente;
- Quantificar a biomassa de raízes finas no solo e na serapilheira de um povoamento de *Pinus taeda* L. e de uma área de campo adjacente;
- Relacionar variáveis químicas e físicas do solo com o comprimento e a biomassa de raízes finas, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e de uma área de campo adjacente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A ausência de florestas plantadas com espécies exóticas no país, certamente comprometeria a manutenção das florestas naturais, pois muito maior seria a pressão sobre as mesmas, considerando o baixo conhecimento silvicultural que atualmente existe a respeito de plantios comerciais com o uso de muitas das espécies nativas.

Assim, considerando o volume de pesquisas que existem para outras essências exóticas plantadas na região sul do Brasil, para o *Pinus taeda* L. estas não são relativamente escassas, mesmo assim existem muitas pessoas desinformadas que se sentem habilitadas a fazer inferências sobre possíveis impactos negativos do cultivo da espécie aos ecossistemas locais, principalmente o campo, esquecendo de considerar os severos danos ambientais, principalmente ao solo, à água e à vegetação, das práticas agropecuárias não planejadas que vêm ocorrendo na região (SCHUMACHER et al., 2002b).

Através da reunião de informações referente ao sistema radicular de espécies arbóreas e suas interações com o solo, esta revisão enfocou aspectos intrínsecos ao desenvolvimento, estrutura, arquitetura e os principais fatores que interferem em seu crescimento.

2.1 Sistema radicular de espécies arbóreas e gramíneas

O conhecimento das características do sistema radicular das plantas (quantidade, distribuição e interação com o solo), principalmente do das raízes finas, é fundamental para a definição e tomada de decisões sobre práticas de preparo do solo e fertilização (local e época de aplicação). Ao lado dessas aplicações práticas, o conhecimento da configuração do sistema radicular é imprescindível como fonte de subsídios para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados com a nutrição mineral e balanço hídrico das árvores (GONÇALVES; MELLO, 2005).

As raízes, além de promover a ancoragem, promovem a interação entre o solo e a parte aérea, absorvendo água e nutrientes essenciais ao crescimento do vegetal, auxiliam na retenção do solo contra a ação da erosão, aumentam a capacidade de infiltração de água no solo, fornecem exsudados para os micro-organismos e participam, ativamente do processo pedogenético. O solo, por sua vez, parcialmente condiciona o crescimento e a arquitetura das raízes em detrimento de suas características próprias (BERTONI; NETO, 2005).

2.1.1 Estrutura, desenvolvimento e arquitetura radicular

O desenvolvimento radicular é um processo muito complexo, controlado por características inerentes à própria planta e ao ambiente no qual ela se insere. As condições de um habitat, relativo a diversas variáveis como as inerentes ao solo, luminosidade, etc., selecionam as espécies vegetais que possuem maior tolerância às condições específicas de desenvolvimento (ANDRAE, 1978).

Os sistemas radiculares, além de desempenharem uma variedade de funções cruciais à sobrevivência da planta, ocupam um espaço muito maior que a parte aérea do vegetal. Na semente em germinação, a primeira estrutura a emergir é a radícula, que promove à plântula fixar-se no solo e absorver água (RAVEN et al., 2001). Ao se esgotarem as reservas das sementes, as raízes passam a depender dos carboidratos assimilados através da parte aérea, os fotoassimilados das folhas inferiores são translocados para o sistema radicular (LARCHER, 2000), com isso, todos os fatores ambientais que interferem na produção desses fotoassimilados vão influenciar no desenvolvimento do sistema radicular (ANDRADE, 1997).

O desenvolvimento da primeira raiz, em plantas com sementes, ocorre a partir do promeristema da raiz do embrião. A raiz primária, também chamada de raiz pivotante, suas raízes laterais e outras várias ramificações, constituem o sistema radicular das gimnospermas e dicotiledôneas. Nas gramíneas, o desenvolvimento de numerosos caules a partir de gemas e raízes a eles associadas, é conhecido como brotação. Essas raízes adventícias também se ramificam, formando um sistema radicular relativamente homogêneo, chamado sistema fasciculado (ESAU, 2002).

As pastagens formadas normalmente por gramíneas, plantas herbáceas ou arbustivas, são um dos principais tipos de vegetação que formam a cobertura do solo, totalizando 24% da área mundial. Por apresentarem a habilidade de crescer em altas densidades e de desenvolver um sistema de raízes finas, em abundância, geralmente profundas e intensamente ramificadas, dominam o solo e raras são as plantas que conseguem competir por água e nutrientes. Toleram um pastoreio contínuo e frequente (BERTONI; NETO, 2005).

Na Figura1, verifica-se uma comparação entre os sistemas radiculares fasciculados, do *Pinus* e de uma gramínea. No caso das gramíneas, as raízes são mais longas, ramificadas e extremamente adaptadas à competição por água e nutrientes, no *Pinus,* as raízes apresentam-se mais espessas e em menor densidade (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Figura 1 - Comparação entre os sistemas radiculares do *Pinus* e de uma gramínea.
Fonte: Adaptado de Gonçalves; Mello (2005).

Sistemas radiculares pivotantes geralmente penetram mais profundamente no solo que os sistemas radiculares fasciculados. Além de mais superficiais e de se aderirem ao solo com maior tenacidade, plantas que possuem sistemas radiculares fasciculados são especialmente apropriadas para cobertura e preservação do solo contra a erosão (RAVEN et al., 2001).

Segundo os mesmos autores, em grande parte das raízes jovens, a epiderme é especializada na função de absorção e em geral é provida de pêlos absorventes, que se constituem de expansões tubulares das células epidérmicas. A função de absorção não é restrita aos pelos absorventes, células epidérmicas destituídas desses também o fazem, contudo os pelos ampliam consideravelmente a superfície de absorção, em geral, eles morrem nas partes mais velhas da raiz, podendo, no entanto, persistirem. As raízes mais velhas, embora possam absorver água e nutrientes, desempenham papel fundamental no transporte dos assimilados pelas raízes finas mais jovens, às quais estão conectadas.

A maneira como ocorre o desenvolvimento das raízes, ou seja, seu hábito de enraizamento tem grande influência sobre o seu crescimento. O hábito de crescimento radicular determina o volume de solo ocupado pelas raízes, a densidade de raízes está associada ao grau de exploração desse solo e à capacidade de eliminação ou dominação por espécies concorrentes (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Andrae (1978) explica que a biomassa do tronco tende a aumentar com o envelhecimento do povoamento. Esse aspecto pode ser influenciado ainda pela fertilidade do solo, alterando o acúmulo de biomassa no tronco em detrimento da priorização principalmente do desenvolvimento do sistema radicular.

No período inicial de desenvolvimento de uma floresta, a maior parte dos carboidratos assimilados é canalizada para a produção de biomassa da copa e das raízes. Esse comportamento se altera com o passar do tempo. Com a competição entre as copas, a prioridade passa para o engrossamento do tronco e ocorre uma diminuição gradativa na produção de folhas e ramos (SCHUMACHER, 1996).

A planta mantém um balanço entre a parte aérea total da superfície fotossintetizante e a área da superfície disponível para absorção de água e nutrientes. Com o passar do tempo essa relação decresce e a prioridade passa a ser o aumento na área responsável pela produção dos fotoassimilados (RAVEN et al., 2001; ANDRAE, 1978). Geralmente o sistema radicular das árvores cresce por um raio duas a três vezes maior que o da copa, a não ser que existam restrições ao crescimento das raízes, contudo, as raízes finas concentram-se sob os limites da copa (ANDRADE, 1997). Recentemente, Schumacher et al. (2007) estudando a arquitetura do sistema radicular do *Eucalyptus* sp. em solos arenosos na metade sul,

do Rio Grande do Sul, verificaram valores máximos de 6,5 e 20 m no sentido vertical e horizontal, respectivamente.

Dentre as diversas funções do sistema radicular das plantas, destacam-se três papéis fundamentais: manter a planta fixa ao substrato, absorver água e sais minerais e produzir hormônios reguladores de crescimento (LIBARDI; LIER, 1999; VIDAL; VIDAL, 2000; RAVEN et al., 2001; WEST, 2006). Apesar de a maioria das raízes ter hábito subterrâneo, muitas não o fazem, possibilitando a certos vegetais uma adaptação a condições particulares de vida, para tanto as raízes dessas plantas adquirem morfologia e estrutura especializadas (VIDAL; VIDAL, 2000).

Algumas espécies vegetais, na tentativa de adaptação aos mais diversos ambientes, apresentam modificações em suas raízes e desenvolvem estruturas, adaptações ou associações simbióticas com fungos e bactérias, que desempenham funções essenciais à sobrevivência da espécie (MENEZES, 2002).

O principal fator envolvido na distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie, porém ele pode ser influenciado por outros fatores que estão ligados ao solo, tais como, fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, efeito do pH, textura, temperatura e pelas circunstâncias nas quais a espécie se desenvolve, por exemplo, competição entre árvores (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Segundo os mesmos autores, as raízes finas (diâmetro ≤ 2,0 mm) são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes para as plantas, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia. As raízes finas constituem menos 1% da biomassa total das florestas, porém sua produção anual (de raízes finas) pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das florestas. Nas florestas, menos de 20% da biomassa total está abaixo do solo, embora mais de 50% do carbono absorvido anualmente pelas plantas pode estar alocado abaixo do solo. Cerca de 50 a 80% das raízes são encontradas nos primeiros 30 centímetros do solo.

Raízes em crescimento apresentam quatro regiões distintas: a coifa, a região meristemática, a região de alongamento celular e a região de diferenciação, no entanto, não são todas as plantas que possuem tais regiões bem definidas (ANDRADE, 1997). O crescimento máximo da raiz em comprimento é o resultado do alongamento celular (ESAU, 2002; RAVEN et al., 2001), aparentemente é um processo contínuo, que cessa apenas sob condições adversas, como a seca ou baixas temperaturas (RAVEN et al., 2001).

A extensão do sistema radicular, resultante do seu crescimento, define a eficiência da planta no aproveitamento da água e dos nutrientes nela presentes. Um importante indicador de qualidade do sistema radicular é a profundidade do mesmo, pois maior será o volume de solo explorado pela planta, na sua busca pela manutenção da produção fotossintética (LIBARDI; LIER, 1999)

Segundo Magalhães e Blum (2000), os sistemas radiculares podem ser caracterizados sob dois aspectos. O primeiro se refere ao hábito radicular, à sua arquitetura, que está relacionada à forma, direção e distribuição das raízes maiores; o segundo se refere à intensidade, que está relacionada às pequenas raízes de absorção. Kahn (1977) define como “macrorhizes” as raízes lenhosas, maiores, mais grossas que são responsáveis pela condução de solutos e pela expansão (e arquitetura) do sistema como um todo; e as “brachyrhizes” são menores, têm anatomia essencialmente primária, ausência de medula, duração transitória e atuam principalmente na absorção de bioelementos, podendo formar micorrizas.

Apesar de cada espécie arbórea ter uma forma radicular herdada, dependendo das suas características genéticas e do substrato aonde as raízes irão se desenvolver, alterações na produção de biomassa e arquitetura radicular poderão aparecer no decorrer do tempo, em função da idade ou fase de desenvolvimento, das condições edafoclimáticas locais e das práticas de cultivo usadas (ATKINSON, 1983).

Nas raízes que apresentam crescimento secundário, como as gimnospermas e dicotilidôneas, o câmbio vascular se inicia por divisões das células do procâmbio que ainda permanecem meristemáticas, nas regiões da raiz que pararam de crescer (RAVEN et al., 2001). O crescimento secundário consiste na formação de tecidos vasculares secundários a partir do câmbio e de uma periderme originada no felogênio. As divisões periclinais ocasionam um aumento em espessura das camadas pericíclicas em posição radial, promovendo assim o engrossamento das raízes. Nas raízes perenes, a atividade do câmbio vascular continua por vários anos, sendo esta estrutura originada do crescimento secundário, assemelhando-se muito com a estrutura do caule (ESAU, 2002).

Com a redução da taxa de crescimento da parte aérea, ocorre a estabilização do crescimento radicular. A senescência das raízes finas pode ser atribuída à condições estressantes, decorrentes de variações estacionais de temperatura, disponibilidade de água, perda de área foliar, alterações hormonais, entre outras. A

taxa de renovação de raízes pode ser comparada com a das folhas, uma vez que se esperam padrões de resposta semelhantes diante dos fatores ambientais (GONÇALVES; MELLO, 2005).

As determinações envolvendo raízes são mais trabalhosas e difíceis de serem realizadas, pelo fato de normalmente envolverem escavações. Esse e outros fatores frequentemente tornam impraticável a realização de amostragens mais intensivas e completas das raízes normalmente a profundidade varia de 1 a 3 m (SANQUETTA, 2002). Analisando as experiências do Chile em estudos de carbono, Barra (2002) destaca que na determinação da biomassa de raízes são gastos aproximadamente US$ 120 por sistema radicular, assumindo-se que a biomassa de raízes corresponde a 15% da biomassa aérea, esses procedimentos tornam-se muito onerosos.

O método de escavação de monolitos é considerado por muitos pesquisadores, como método padrão, sendo o mais exato nas estimativas da quantidade de raízes, é muito útil em estudos sobre morfologia e distribuição de raízes finas no perfil do solo (BÖHM, 1979). Determinados estudos relatam que a posição de amostragem de raízes finas, em relação a distância do fuste, não afeta essa característica. A utilização dessa técnica permite estimar qualitativamente e quantitativamente o sistema radicular das plantas. Apesar disso, apresenta uma desvantagem a ser considerada, a alta demanda de mão-de-obra e tempo, tornando a pesquisa muito onerosa (GONÇALVES; MELLO, 2005).

2.1.2 Ciclagem através da serapilheira

A presença de serapilheira é sem dúvida a principal característica que nos permite diferenciar os solos florestais dos solos agrícolas (PRITCHETT, 1990). A serapilheira pode ser definida como todos os tipos de material biogênico (folhas/acículas, ramos, caules, frutos, flores, cascas e outras partes das plantas depositadas no piso florestal, bem como restos de animais e material fecal) em vários estágios de decomposição. Esse material representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras, que realizam a sua decomposição.

Além disso, a serapilheira pode acumular significativa quantidade de água junto aos seus tecidos, fazendo a função de uma grande esponja e filtro, que se encharca logo após uma precipitação e, após isso, vai liberando lentamente a água acumulada para o solo, onde irá abastecer as raízes das plantas.

O retorno de nutrientes através da serapilheira, tende a aumentar com o aumento da idade do povoamento. Camadas muito espessas de manta podem fixar grandes quantidades de nutrientes. Fatores como o teor de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, estão intimamente ligados à rapidez com que ocorre a decomposição desse material. Em povoamentos onde ocorre o acúmulo de serapilheira, como é o caso do *Pinus*, as raízes finas se desenvolvem preferencialmente nos horizontes onde existe um maior teor de húmus favorecendo a liberação de nutrientes, na camada mais superficial do solo e, inclusive, dentro da serapilheira pode-se encontrar uma rede densa de raízes finas em busca de água e nutrientes (ANDRAE, 1978).

Toledo et al. (2002) e König et al. (2002), verificaram, para áreas de Floresta Estacional, que a unidade anatômica vegetal de maior relevância na formação da serapilheira é a folha. Dessa forma, pode-se afirmar que uma análise detalhada do comportamento dessa unidade caracteriza, com grande confiabilidade, a dinâmica na ciclagem de nutrientes.

A relação C/N mais favorável no material depositado em formações florestais compostas por folhosas facilita a decomposição da serapilheira e libera nutrientes ao sistema de forma mais rápida. Novais; Poggiani (1983), estudando a dinâmica de deposição de serapilheira e aspectos nutricionais, em povoamentos compostos por folhosas e coníferas, observaram que a concentração de nutrientes no material depositado no povoamento de *Pinus* é inferior à concentração encontrada para folhosas.

A variação no volume de serapilheira acumulada no solo de povoamentos florestais está relacionada a características das espécies, idade do povoamento, taxa de incremento, condições climáticas e propriedades do solo. Outros aspectos desfavoráveis, que interferem no acúmulo de serapilheira, referem-se à composição química, baixo nível de nutrientes na serapilheira e no solo, déficit de água, temperaturas muito altas ou baixas, pH alto ou baixo, baixa densidade populacional de organismos decompositores (WATZLAWICK et al., 2002).

O crescimento e a renovação de raízes finas são de grande importância nos processos de ciclagem de nutrientes, assim como no aumento do teor de matéria orgânica do solo. A ciclagem biogeoquímica ocorre em maior escala em povoamentos florestais após o fechamento das copas, estimulando o crescimento das raízes finas na superfície do solo, favorecida por fatores como: redução das variações de amplitudes térmicas e de umidade, diminuição da radiação solar incidente sobre o solo e aumento da disponibilidade de nutrientes via mineralização da serapilheira. A serapilheira presente no solo atua como uma camada protetora e rica em nutrientes, assim como as camadas mais superficiais do solo proporcionam um grande estímulo ao crescimento superficial das raízes, maior do que as camadas de solo subjacentes, as quais têm suas reservas de nutrientes empobrecidas pela grande atividade do sistema radicular (GONÇALVES; MELLO, 2005).

König et al. (2004) estimaram em 350 kg ha^{-1} (2% da massa da serapilheira), a massa de raízes finas em meio à serapilheira de um plantio de *Pinus taeda* com 23,5 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Para Lopes et al. (2008) uma característica peculiar das florestas é a grande quantidade de raízes finas na camada superficial do solo e da serapilheira, tendo em vista que nesse local elas encontram uma grande quantidade de nutrientes decorrentes da decomposição da camada orgânica depositada.

Aspecto que vai além do peso de raízes finas nos horizontes orgânicos (serapilheira) é o seu comprimento, o qual atinge valores certamente maiores, em função do pequeno diâmetro dessas raízes, mas lhes proporciona uma maior área a ser explorada em busca de nutrientes para serem absorvidos, quando ocorre a decomposição de serapilheira.

2.1.3 Características edáficas e o crescimento radicular

O solo é um sistema dinâmico, influenciado pelas formas de uso e manejo adotadas. As florestas podem acarretar mudanças nas propriedades edáficas, principalmente pelo grau de proteção que oferecem ao solo contra a erosão, através da capacidade de penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela matéria orgânica produzida (ANDRADE, 1997). As raízes exercem uma significativa influência sobre o desenvolvimento do perfil do solo. Ao morrer, as raízes enriquecem a matéria orgânica do solo.

A umidade do solo, provavelmente, seja a característica que apresenta maior influência sobre o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular (PRITCHETT, 1990; REICHERT et al., 2007). Considera-se que para um bom desenvolvimento das raízes, a umidade ideal, dependendo da textura e da temperatura do solo, entre outros fatores, apresentaria valores próximos à capacidade de campo. A maioria das árvores apresenta melhores taxas de crescimento em solos úmidos e bem aerados. O excesso de água no solo ocasiona uma deficiência de oxigênio e a acumulação de dióxido de carbono. Essas condições podem acarretar na redução do crescimento e ainda causar a morte das raízes (PRITCHETT, 1990).

A distribuição das raízes no perfil do solo, em parte, determina o grau de aptidão da planta na retirada da água do solo. Algumas plantas cultivadas, como o milho e a soja, ocupam majoritariamente os primeiros 25 a 30 cm do perfil, ao passo que, culturas perenes e árvores possuem sistema radicular profundo e são capazes de obter água das camadas mais profundas do solo. Mesmo nesse caso, a absorção se dá com maior intensidade nas camadas superiores. O suprimento de água às plantas é regido principalmente pelo movimento capilar da água do solo para as raízes e a manutenção do contato entre o solo e a superfície das raízes, através do seu crescimento no interior do solo (BRADY, 1989).

Várias características do solo e da forma como é manejado afetam o desenvolvimento radicular. Destacam-se a diminuição da porosidade devido ao adensamento natural formado por processos pedológicos ou por compactação devido ao manejo, a toxicidade de alguns elementos químicos, a falta de nutrientes e o excesso ou falta de água (DEMATTÊ, 1981).

Santos Filho; Rocha (1987), avaliando as principais características de solo que influem no crescimento de *Pinus taeda*, relataram que os melhores sítios ocorrem em solos com B textural com caráter latossólico, de textura arenosa e média, moderadamente drenados. Demonstraram também que os sítios com drenagem excessiva não são adequados ao bom crescimento da espécie, concluindo que as características físicas do solo prevalecem sobre as químicas na determinação dos melhores sítios para a espécie.

Vários autores, relacionados por Brum (1979), afirmam que a profundidade do solo tem sido relacionada ao crescimento em altura de *Pinus* sp. Conforme esses autores, existe uma correlação positiva entre o crescimento e a profundidade do horizonte de menor permeabilidade, onde uma pouca profundidade limitaria a aeração, a umidade e a disponibilidade de nutrientes.

As características físicas do solo (textura, porosidade, etc) e sua influência nas atividades químicas do interior do solo interferem na qualidade do sítio para o desenvolvimento de espécies do gênero *Pinus*. Algumas espécies arbóreas apresentam crescimento vigoroso em solos de baixa fertilidade, o que provavelmente é devido ao extenso sistema radicular que desenvolvem, explorando grande volume de solo (PRITCHETT, 1990). Tal aspecto também pode ser atribuído à eficiência das espécies na utilização dos nutrientes disponíveis.

Solos com reduzidos estoques de nutrientes e baixa disponibilidade de água, comparados a solos férteis, apresentam baixa produtividade da parte aérea da planta. Esse comportamento está associado ao fato de que uma considerável quantidade de fotoassimilados são destinados ao desenvolvimento do sistema radicular, na tentativa de suprir totalmente a planta com água e nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. (GONÇALVES; MELLO, 2005).

A determinação da densidade do solo é uma ferramenta de grande valia na classificação de sítios, pois o seu resultado desta nos permite avaliar a capacidade de drenagem, a porosidade, a condutividade hidráulica, a permeabilidade e a capacidade do solo para reter o ar, nutrientes e água. Essa informação fornece subsídios para a escolha de uma determinada espécie para o plantio num determinado sítio. Se a espécie a ser plantada tem como característica emitir um sistema radicular profundo, deve-se preferir áreas com solos não muito adensados e encharcados, pois do contrário teremos um menor desenvolvimento e baixo incremento em volume de madeira.

2.2 Aspectos silviculturais do *Pinus*

Para Seitz (2000), silvicultura não se resume ao simples fato de plantar mudas de árvores, mas a maneira como se maneja uma floresta nativa ou uma plantação, procurando garantir um produto, quer seja, madeira, água pura, habitat da fauna silvestre ou ainda uma paisagem agradável. Silvicultura é trabalhar com a floresta, dominando técnicas e conhecendo as interações existentes entre a floresta e o ambiente. O manejo florestal em regime sustentado objetiva o uso múltiplo das florestas, com a produção concomitante de benefícios materiais e imateriais (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2006). Segundo Taylor (1969), os benefícios diretos das florestas decorrem dos produtos diretos que produzem, como a madeira principalmente. Outros benefícios indiretos gerados pela presença da floresta são: regularização do clima local, valor estético em consonância com a paisagem local, ou seja, em certos lugares ou ocasiões, eles são mais importantes que os diretos.

O *Pinus taeda* L., também conhecido como “Loblolly pine”, é originário do sudoeste dos Estados Unidos (KRONKA et al., 2005) e das planícies adjacentes do Golfo do México, possuindo uma distribuição mais ampla que *Pinus elliottii* (MARCHIORI, 1996). Naturalmente ocorre em altitudes de até 800 m, sendo a espécie com fins madeireiros mais importante dos Estados Unidos. Na região sul do Brasil, é cultivado na Serra Gaúcha e no Planalto Catarinense. As plantas chegam a cerca de 20 m de altura e 1 m de DAP, sustentam uma copa densa, composta por folhas aciculares e verde-escuras, que se reúnem de 3 por fascículo e medem de 15 a 20 cm de comprimento; as sementes são aladas e medem cerca de 5 mm (MARCHIORI, 1996; LORENZI et al., 2003). Backes; Irgang (2004) postulam que o *Pinus taeda* plantado no sul do Brasil, especialmente nas regiões dos campos de altitude, é um dos poucos empreendimentos econômicos que apresentam viabilidade de execução com possibilidade de retorno.

Conforme Kronka et al. (2005), a característica dos povoamentos de *Pinus*, atualmente implantados, é de diversidade em termos de espécies, idades e produtividade. A madeira com alburno amarelo é utilizada como matéria-prima em indústrias de laminados, chapas, aglomerados, celulose, serrarias e móveis.

De acordo com Polomski e Kuhn (1998), as raízes das coníferas possuem diferentes formas de adaptações e crescimento que lhe são inerentes. Na Figura 2

verifica-se que o *Pinus sylvestris* apresenta um maior crescimento radicular do que a espécie *Picea abies*. Cabe destacar, que no sítio a precipitação é de 800 mm e a densidade do solo a 30 cm de profundidade é de 1,56 g cm^3

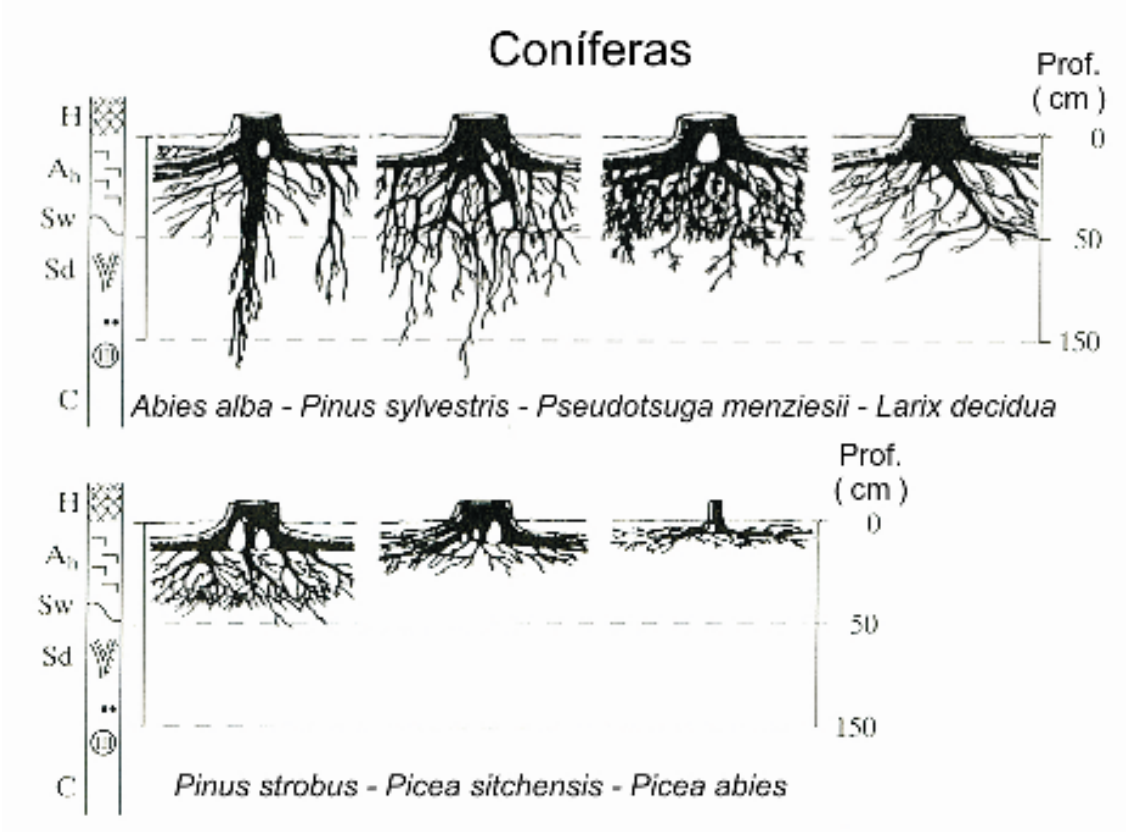


Figura 2 – Produção de raízes em diferentes espécies arbóreas em solos hidromórficos de transição, na região da Bavária, Alemanha. Adaptado de Polomski; Kuhn (1998).

2.3 Fisionomia dos Campos de Cima da Serra

Na região localizada no nordeste do Estado Rio Grande do Sul, os campos de altitude ocupam uma área de 9.196 km², abrangendo Cambará do Sul, São Francisco de Paula, Jaquirana, São José dos Ausentes e Bom Jesus. Têm servido de suporte ao desenvolvimento econômico da região, a pecuária e o forte apelo turístico, baseado nas potencialidades dos recursos naturais.

Para Marchiori (2002), existe certa divergência terminológica nas classificações da vegetação do Rio Grande do Sul. Sem um sólido embasamento, deve-se utilizar a tradicional denominação de campos, como sugerido inicialmente por Lindman e depois por estudiosos da vegetação brasileira como Balduino Rambo.

Rambo (1994), em sua descrição da fisionomia do Rio Grande do Sul, destaca a beleza dos campos, dominados por gramíneas que cobrem as coxilhas. Nesse relevo característico, a grama baixa e intensamente verde, mesmo no verão, se desenvolve sobre uma camada rasa de solo que por sua vez fica assentada na rocha. A constante presença da umidade, provinda da cerração rica em nutrientes, garante a sustentação de um grande número de espécies características da região.

Conforme Nabinger (2008), atualmente a pesquisa tem adotado uma postura mais analítica e explicativa de seu funcionamento como ecossistema. As características do solo e clima onde estão assentados esses campos possibilitam uma diversidade florística ímpar em todo o mundo, com grande diversidade. Apresenta, portanto, vegetações com características extremamente diferenciadas em termos de adaptação ao meio físico e também ao manejo. Os campos apresentam alta diversidade de espécies vegetais nativas, com a ocorrência de aproximadamente 800 gramíneas e 200 leguminosas (PALLARÉS et al., 2005).

Segundo Brack et al. (2008), essa vegetação gramíneo-lenhosa está associada a solos rasos e submetidos a queimadas constantes, apresentando estágios distintos conforme a atividade, predominantemente, pecuária e agricultura. Entre as famílias presentes, destacam-se Gramineae (Poaceae), Leguminosae (Fabaceae) e Compositeae (Asteraceae). Entre as espécies de Gramíneas mais comuns na fisionomia, destacam-se *Andropogon lateralis* (capim-caninha), *Axonopus* spp. (grama), *Aristida* spp. (capim-barba-de-bode), *Erianthus trinii* (macega-estaladeira), *Paspalum* spp. (capim), *Piptochaetium montevidensis* (cabelo-de-porco), *Aristida spp.* (capim-barba-de-bode), *Eragrostis sp.* (capim-orvalho) e *Panicum cf. sabulorum* (capim). No que se refere a ervas de outras famílias, destacam-se as Leguminosas das quais podemos assinalar *Desmodium* sp. (pega-pega), *Rhynchosia* sp., *Crotalaria* spp., *LuPinus* spp., etc. A família Compositeae, possui ervas de pequeno porte, como *Aspilia montevidensis* (margarida-do-campo), *Trichocline catharinensis* (cravo-do-campo), *Spilanthes* sp., *Gamochaeta* sp.. Os campos quando abandonados podem ser ocupados por vegetação arbustiva,

destacando-se espécies do gênero *Baccharis* (*B. uncinella, B. articulata, B. dracunculifolia*) e dos gêneros *Eupatorium e Vernonia.*

Porto (2002) relata que as espécies mais comuns e de valor forrageiro são *Schizachyrium tenerum, Trachypogom polymorphum, Axonopus compressus, Bromus auleticus, Piptochaetium ruprechtianum e Trifolium riograndense*. A maior taxa de crescimento da vegetação ocorre durante o período de primavera, durante o inverno ocorre o período crítico.

A pecuária desembarcou nesse ecossistema, em conjunto com os primeiros colonizadores. A base para a gestão sustentável desse ambiente está firmada no conhecimento de diversos fatores, como variáveis ambientais, dinâmica da vegetação, interações entre gado e vegetação e, principalmente, a adoção de um manejo adequado pelos pecuaristas (PALLARÉS et al., 2005).

Pallarés et al. (2005) e Porto (2002) salientam a importância dos campos, na produção de carne e também como um reservatório de espécies gramíneas e leguminosas. Pesquisas indicam que o potencial das pastagens naturais é muito alto, quando comparado a pastagens cultivadas. Com o desenvolvimento dos estudos sobre o comportamento das espécies nativas, será possível conservar e melhorar as áreas de campo através da introdução de espécies geneticamente melhoradas e manejo diferenciado.

Na região dos Campos de Cima da Serra, predomina a criação de gado de corte no sistema de pecuária extensiva. A lotação, nesses campos, varia entre 0,3 a 0,5 cabeças por hectare, delimitada pelo período de inverno onde a vegetação apresenta-se em período hibernal. A prática das queimadas é usual nessa região, visando à limpeza das áreas após o inverno. Esse método aliado à não-fertilização e à alta pressão em épocas desfavoráveis, ocasiona uma sensível diminuição de espécies forrageiras de boa qualidade (PORTO, 2002).

2.4 Análise multivariada – fatorial e componentes principais

Os procedimentos estatísticos, para análise de dados, estão dispostos em dois grupos: um que trata da estatística, que olha as variáveis de maneira isolada –

a estatística univariada, e outro, que olha as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada (SOUZA; VICINI, 2005).

A Análise Multivariada, através de múltiplos métodos e técnicas, proporciona ao pesquisador uma interpretação teórica de um conjunto de medições das diversas variáveis obtidas, mesmo quando existirem em grande número. Com isso, os dados referentes às características edáficas, ao comprimento e à biomassa de raízes finas, foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP). Através da ACP, buscou-se não somente explicar as correlações existentes entre as variáveis, mas encontrar funções matemáticas entre as variáveis iniciais, que expliquem o máximo possível da variação existente nos dados e permitam descrever seu comportamento, principalmente com relação ao comportamento das raízes finas.

A proposta inicial da análise fatorial é descrever, se possível, a covariância dos relacionamentos entre muitas variáveis, em termos de poucas variáveis fundamentais, chamadas de *fatores*. Supõe-se que variáveis possam ser agrupadas por suas correlações, isto é, todas as variáveis dentro de um grupo particular são altamente correlacionadas entre si, mas com correlações relativamente baixas ou negligenciáveis com as variáveis de um grupo diferente. É admissível que cada grupo de variáveis represente um fator, que é responsável pelas correlações observadas (LONGHI, 1997).

A análise fatorial, relacionada à análise de componentes principais, é composta por um conjunto de técnicas estatísticas e possui como objetivo básico, a redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais, com a menor perda possível de informação. Pode-se dizer que a análise fatorial é aplicada na identificação de fatores, num conjunto de medidas realizadas, sendo que esses fatores identificados pela análise fatorial uma descoberta feita pelo pesquisador.

A análise fatorial, em sua aplicação, engloba uma variedade de técnicas e algoritmos cujo objetivo é encontrar e separar objetos em grupos similares. Esse método determina quais variáveis pertencem a quais fatores e o quanto cada variável explica cada fator. Em alguns estudos, torna-se necessário conhecer algumas características de um determinado grupo de um conjunto de elementos amostrais, principalmente quando é resultante de uma ou mais variáveis. Quando se obtém mensuração de diferente natureza, pode-se observar se há similaridades no conjunto de dados (SOUZA; VICINI, 2005).

Os fatores são extraídos na ordem do mais explicativo para o menos explicativo. Teoricamente, o número de fatores é sempre igual ao número de variáveis. Entretanto, alguns poucos fatores são responsáveis por grande parte da explicação total.

A base fundamental para a análise fatorial é que as variáveis escolhidas podem ser transformadas em combinações lineares de um conjunto de componentes (fatores) hipotéticos ou despercebidos. As cargas são responsáveis por relacionar a associação específica entre os fatores e as variáveis originais. Para se ter uma melhor visualização das variáveis, que melhor representem cada fator, é realizada uma rotação nos eixos, pois a análise fatorial busca colocar os fatores em uma posição mais simples, com respeito às variáveis originais, que ajudam na interpretação de fatores. A rotação coloca os fatores em posições em que serão associados somente às variáveis relacionadas diretamente a esse fator. A rotação varimax busca minimizar o número de variáveis com altas cargas num fator, ou seja, maximiza a variância da carga (SOUZA; VICINI, 2005).

A razão de se haver adotado medidas de dispersão ao invés das medidas de localização para a análise estatística, deve-se ao fato de, as primeiras fornecerem uma combinação linear com pesos diferenciados, ideal quando se têm variáveis com alto índice de correlação. Já as medidas de localização fornecem peso a todas as variáveis, sendo usadas com variáveis de baixo índice de correlação. A utilização das componentes principais justifica-se também pelas características que encerram, tornando-se muito efetiva para a avaliação das variáveis originais que maior peso exerce sobre um conjunto de amostras. Assim, podem-se adotar as primeiras componentes principais e considerá-las tão mais importantes que as demais, visto que, as principais componentes têm importância decrescente e guardam informações de todas as variáveis originais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na Fazenda Guabiroba, a aproximadamente 6 quilômetros da cidade de Cambará do Sul, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra (Figura 3). As plantações de *Pinus taeda* L., na referida fazenda, pertencem à empresa Cambará Celulose e Papel S.A.

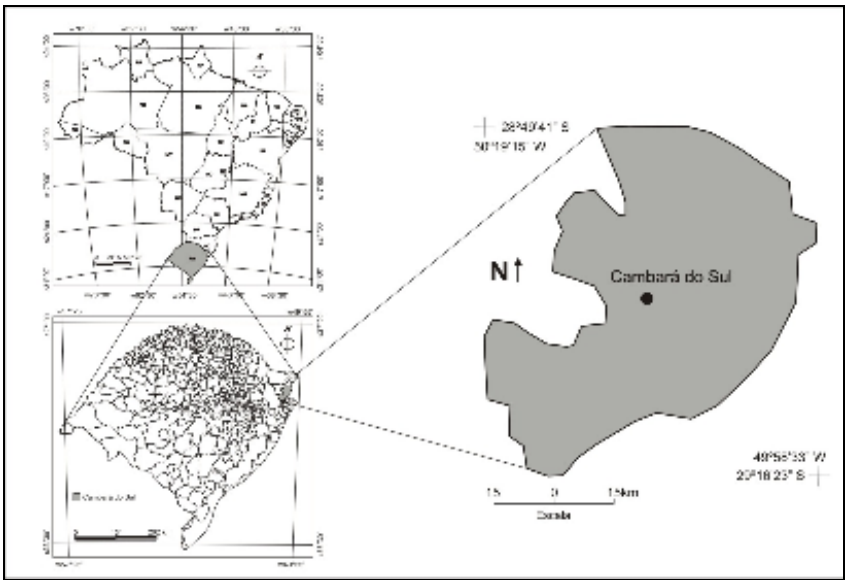


Figura 3 - Localização do município de Cambará do Sul, RS. Fonte: Modificado de FEE, 2008. Organizador: Viera, M. (2008).

As plantações da empresa estão situadas num raio médio de 25 km da fábrica e a área do estudo está localizada a aproximadamente 15 km da fábrica, com as coordenadas geográficas de 29° 04’ 51,77’’ de latitude Sul e 50° 06’ 27,99’’ de longitude Oeste. A altitude no local é de 980 m. A distância, em linha reta, até o litoral, é de, aproximadamente, 47 km. A Figura 4 apresenta a área onde foi realizada a coleta.

Figura 4 - Croqui de localização das áreas experimentais no povoamento de *Pinus taeda* L. e no campo adjacente. Cambará do Sul, RS. Fonte: Google Earth (2008).

Segundo a classificação de Köppen, o tipo de clima fundamental predominante na região é o Cfb (temperado úmido), foi registrada uma precipitação média de 159 mm mensais ou 1.906 mm, bem distribuída durante o ano, a temperatura média anual é de, aproximadamente, 15,5 °C, sendo que a média das máximas é de 20,9 °C e a média das mínimas é de 10,9 °C, um extremo para as mínimas absolutas de -7,2°C, observados na estação meteorológica de Cambará do Sul, no período de 1997-2007 (INMET, 2008). Os ventos dominantes na região são alísios, ou seja, sopram do mar para a terra, pelo fato de a região estar situada próxima ao litoral norte do estado.

Os materiais de origem do solo são rochas basálticas resultantes do derrame basáltico do Triássico Superior, predominando solos rasos com horizonte A de coloração escura, com baixa saturação de bases e teores elevados de alumínio trocável (BRASIL, 1973).

O solo da região pertence à Unidade de Mapeamento Bom Jesus, sendo classificado como Cambissolo Húmico alumínico típico. Predominam, nessa Unidade de Mapeamento, solos profundos, moderadamente drenados, argilosos, friáveis e desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas (basalto). Os solos são de cor escura, devido ao acúmulo de matéria orgânica no horizonte superficial e são fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores trocáveis de Al $\geq$ 4 $cmol_c/dm^3$ e saturação de Al $\geq$ 50% (STRECK et al., 2008).

3.2 Histórico da área do estudo

3.2.1 Caracterização do povoamento de *Pinus*

O projeto Cambará 29, localizado na Fazenda Guabiroba, foi implantado no ano de 1993, no período de agosto e dezembro, em área de campo, com mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em recipientes plásticos e sementes de APS da empresa Rigesa e o espaçamento utilizado foi de 3 m x 2 m. O plantio foi realizado sem adubação, após queima, coveamento e posterior coroamento manual. Em 1994, realizou-se uma roçada mecânica, no período entre junho e agosto procedeu-se novamente uma roçada mecânica com a finalidade de limpeza para posterior realização da desrama. A primeira desrama aconteceu de agosto a setembro de 1997, até uma altura de 1,70 m (60 % da altura) em 100 % das árvores. Nos meses de julho a dezembro de 1999, procedeu-se a segunda desrama, até 4,5 m de altura em 2/3 das árvores. Foram feitos dois desbastes, em 2003 com a retirada de 120 m^{st} ha^{-1} e outro em 2008, com a retirada de 130 m^{st} ha^{-1}, restando 710 árvores por hectare. No momento da coleta de dados, o povoamento de *Pinus* encontrava-se com 15 anos de idade.

3.2.2 Caracterização da área de campo

Na área onde se realizou o presente estudo, existe a presença de gado e, consequentemente, um constante pastejo da vegetação rasteira. A lotação é considerada baixa, com 0,3 cabeças por hectare. Normalmente, na saída do período de inverno, ocorrem queimadas que objetivam a limpeza e renovação da área. A vegetação presente é característica do local, como já visto anteriormente, sem a inserção de espécies forrageiras exóticas ou mesmo práticas de correção da fertilidade natural.

3.3 Amostragem do solo com raízes

A amostragem de solo e raízes foi realizada no dia 07 de novembro de 2008, através do método de monolitos descrito por Böhm (1979), a partir da escavação manual de 3 monolitos de 25 cm x 25 cm x 40 cm, distribuídos aleatóriamente no interior do povoamento de *Pinus taeda* L., posicionados na diagonal entre 4 árvores e mais 3 monolitos na área de campo adjacente.

Inicialmente se procedeu com a abertura de uma trincheira de 40 cm, na qual, promoveu-se o acesso à vista lateral do monolito. Em seguida, com o auxílio de uma moldura de ferro de 25 cm x 25 cm, delimitou-se a área de coleta, onde, após medida com uma régua milimétrica, foi coletada a camada superficial de serapilheira.

Posteriormente, foram eliminadas irregularidades na parede, deixando-a perfeitamente no prumo e coletada a primeira camada de solo, de 0 - 10 cm de profundidade. A mesma metodologia foi utilizada na obtenção das demais camadas. No Apêndice A estão as fotos das etapas da coleta de solo e serapilheira na área de com *Pinus* e campo.

Os monolitos ficaram subdivididos em cinco perfis geométricos de 25 cm x 25 cm x 10 cm, compostos pela serapilheira e nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40 cm do solo (Figura 5). Na área de campo, foram coletadas apenas amostras do solo, totalizando 4 camadas por monolito.

A serapilheira e o solo coletados foram armazenados em sacos plásticos, devidamente identificados e mantidos em uma caixa térmica para posterior transporte até o Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM.

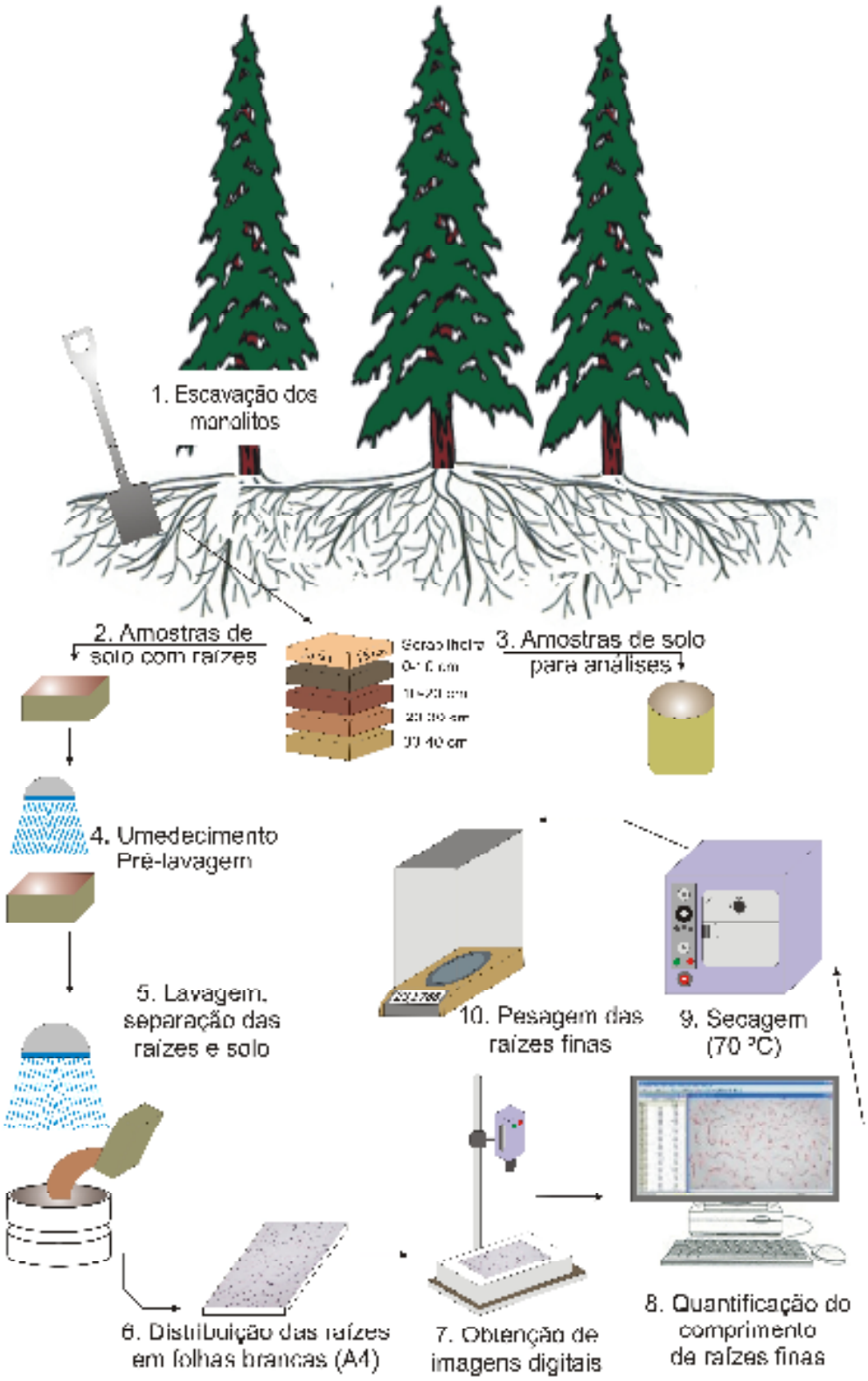


Figura 5 – Etapas da coleta e processamento das amostras. Adaptado de Polomski; Kuhn (1998).

3.4 Lavagem e separação de raízes

Posteriormente à coleta dos monolitos, eles foram encaminhados ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, onde se realizou a lavagem desses monolitos durante o período de 10 a 14 de novembro de 2008.

O solo com as raízes foi retirado do saco plástico, colocado em bandejas e submerso em água, para facilitar a separação das raízes. Para separação das raízes do solo, utilizou-se um conjunto de duas peneiras sobrepostas; a superior com malha de 2 mm e a inferior de 1 mm (Figura 5). O solo foi depositado na peneira superior, em pequenas porções, onde recebeu sucessivos jatos de água, objetivando sua retirada, permanecendo somente as raízes.

Quase a totalidade das raízes ficava depositada na peneira de 2 mm, em quantidade menor eram encontradas na segunda peneira de 1 mm de malha. Após a separação das raízes do solo, com o auxílio de um gabarito, realizou-se a devida separação das raízes finas (≤ 2 mm). Depois da separação, elas foram armazenadas sob refrigeração (± 5°C), dentro de vidros com solução de álcool (10%), devidamente fechados e identificados.

3.5 Amostragem da análise de solo

Em cada uma das 6 trincheiras abertas, logo após a coleta dos monolitos, foram retiradas amostras de solo para análise química e física, nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm. Durante a coleta de solo para a análise química, também foram coletados, nos mesmos pontos amostrais, anéis volumétricos de Kopecky para avaliação da densidade do solo.

As análises químicas e físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), preconizada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS / SC (2004).

A determinação da densidade do solo foi realizada no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM, segundo a metodologia, usando anéis de Kopeck (EMBRAPA, 1997).

3.6 Estimativa do comprimento e da biomassa de raízes

As raízes foram distribuídas manualmente sobre uma folha de papel branco no tamanho A4 (210 mm x 197 mm), com o auxilio de uma câmera digital (Kodak DX4530, 5.0 mega pixels), apoiada em um suporte de altura fixa (0,5 m), obtendo-se 2.045 imagens digitais.

Com o auxilio do programa UTHSCSA, *Image Tool* for Windows *version 3.00*© (2002), as imagens foram processadas. Este programa detecta as raízes e fornece o perímetro das mesmas (Figura 6).

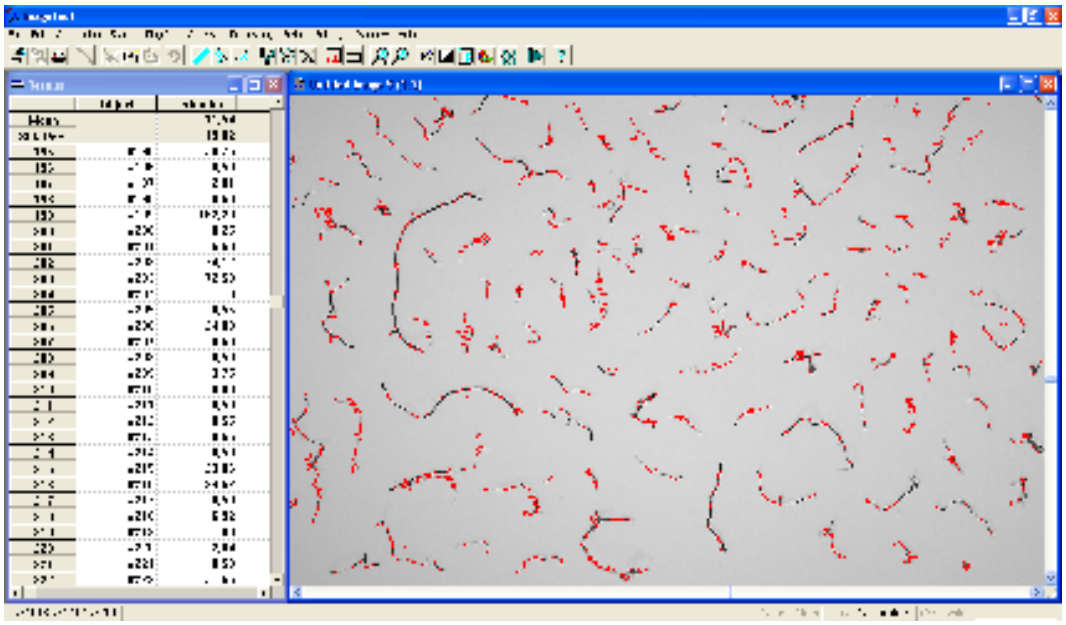


Figura 6 - Visão do programa UTHSCSA, Image Tool for Windows version 3.00© (2002), durante a rotina de quantificação do comprimento de raízes finas.

Após a quantificação do comprimento, as raízes foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, por um período de 72 horas e, depois,

pesadas em balança analítica com 0,0001 g de precisão, para determinação da biomassa (Apêndice B).

3.7 Análise estatística

Os valores encontrados para comprimento e biomassa de raízes finas nas diferentes profundidades do solo, nas duas áreas estudadas, foram submetidos à análise de variância (ANOVA *one-way*) e as médias comparadas por meio do teste Tukey ($p<0,05$). Os atributos edáficos mensurados foram utilizados na Análise de Componentes Principais, como variáveis explicativas sobre o comportamento da biomassa e do comprimento de raízes finas nas diferentes profundidades do solo, usando o programa STATISTICA (*data analysis software system*), version 7 (2004).

Na Tabela 1, estão dispostas as variáveis e seus números correspondentes. Optou-se por substituir o nome das variáveis por um número, para facilitar a visualização dos resultados, especialmente quando dispostos em gráficos.

Tabela 1 - Números utilizados na ACP em substituição ao nome original das variáveis analisadas.

Número usado	Variável correspondente	Número usado	Variável correspondente
1	MO(%)	10	Mg ($cmol_c\ dm^{-3}$)
2	pH (H_2O)	11	m (%)
3	Al ($cmol_c\ dm^{-3}$)	12	V (%)
4	H + Al ($cmol_c\ dm^{-3}$)	13	Areia (%)
5	CTC efet. ($cmol_c\ dm^{-3}$)	14	Silte (%)
6	CTC pH 7 ($cmol_c\ dm^{-3}$)	15	Argila (%)
7	P ($mg\ dm^{-3}$)	16	Comprimento
8	K ($mg\ dm^{-3}$)	17	Biomassa
9	Ca ($cmol_c\ dm^{-3}$)	18	Ds ($g\ cm^{-3}$)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comprimento e densidade de raízes finas

Na Figura 7, são apresentados os comprimentos de raízes finas, sua distribuição nas diferentes profundidades do solo no povoamento de *Pinus* com a camada de serapilheira e na área de campo.

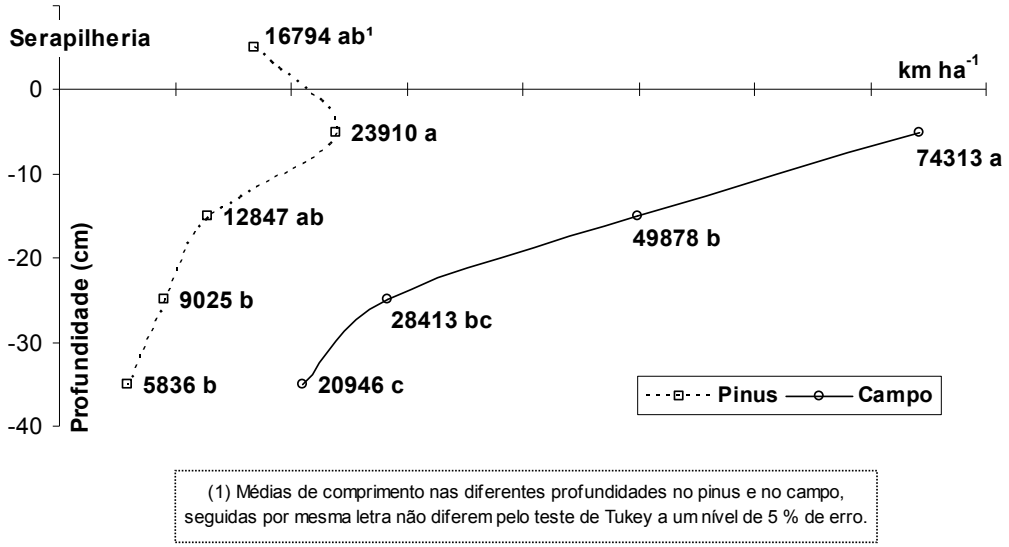


Figura 7 - Comprimento (km ha^{-1}) de raízes finas no perfil do solo para um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS.

O comprimento total médio de raízes finas no povoamento de *Pinus taeda* L., no perfil de 40 cm do solo, incluindo-se a camada de serapilheira, foi de 68412 km ha^{-1}, sendo que, a maior parte dessas se concentrou nos primeiros 20 cm de profundidade e na serapilheira, diminuindo gradativamente até a profundidade de 40 cm, como mostra a Figura 7. Na profundidade de 0 - 10 cm, está concentrado o maior comprimento médio de raízes finas com 23910 km ha^{-1}, o que equivale a 34,95%. Essa camada não diferiu estatisticamente da camada de 10 - 20 cm e da

serapilheira, com isso, a camada de serapilheira, juntamente com as duas primeiras camadas do solo, acumulam 78,28% do comprimento médio de raízes finas.

Na área de campo, o comprimento total médio de raízes finas, no perfil de 40 cm do solo, foi de 173550 km ha^{-1}, e 42,82% (74313 km ha^{-1}) desse comprimento localiza-se na camada de 0 - 10 cm de profundidade. As camadas de 20 a 40 cm não diferiram estatisticamente e apresentam juntas 49359 km ha^{-1} ou 28,84% do total.

A vegetação presente no campo apresenta o sistema radicular fasciculado e com raízes de finas a muito finas, característico das gramíneas, o que proporcionou os altos valores no comprimento. Isso vem confirmar a alta capacidade de exploração das camadas mais superficiais do solo, em busca de água e nutrientes. Andrade (1997) destaca que a presença das raízes finas de gramíneas se dá principalmente até a profundidade de 30 cm. Silva et al. (2007), analisando o comprimento de raízes finas em pastagem e mata, constataram que o maior crescimento de raízes aconteceu durante o período de maior precipitação, provavelmente pela maior disponibilidade de água para as raízes, o que ratifica a opinião de autores que consideram a ausência de água um limitador ao crescimento radicular. A área de pastagem apresentou maior comprimento de raízes finas, comparado com a mata nativa.

A serapilheira possui um comprimento de raízes finas superior ao das camadas de 20 – 30 cm e 30 – 40 cm de profundidade. Daí a importância da interação da grande rede de raízes finas no processo de absorção de nutrientes que são disponibilizados e na ciclagem dos minerais que se encontram nas acículas e em outros componentes orgânicos.

Navroski e Schumacher (2007), analisando o comprimento de raízes finas em uma Floresta Estacional Decidual, verificaram, para a camada de 0-15 cm de profundidade, mais de 40.000 km ha^{-1} de raízes finas, decrescendo para mais de 10.000 km ha^{-1} na profundidade de 15 - 30 cm e 5.000 km ha^{-1} na profundidade de 30-45 cm. Da mesma forma Ceconi et al. (2008), estudando o sistema radicular de *Acacia mearnsii* De Wild. com quatro anos de idade, verificaram que o comprimento de raízes finas diminui com o aumento da profundidade, sendo que nos primeiros 20 cm encontram-se 86,59% do comprimento total de raízes finas.

Witschoreck et al. (2003), em um estudo sobre estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla,* com 10 anos, no município de

Santa Maria-RS, encontraram 27.968,9 km ha^{-1} de comprimento médio de raízes finas no perfil de 60 cm de solo, sendo que, 76,1% do comprimento total destas raízes estavam nos primeiros 30 cm de profundidade de solo e concentradas principalmente na camada de 0 - 10 cm.

Tratando-se de espécies florestais, vários autores constataram que a maior quantidade de raízes finas encontra-se mais superficialmente no solo e inclusive na camada de serapilheira. A presença da serapilheira é uma característica peculiar de povoamentos florestais e contribui de maneira representativa para a grande quantidade de raízes finas na camada superficial do solo e na própria serapilheira. Nesse local, as raízes encontram uma grande quantidade de nutrientes decorrentes da decomposição de acículas, galhos, cascas, entre outros componentes que formam a serapilheira, e pelas características físicas do solo que, às vezes, oferecem impedimentos para o desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas (Tabela 1 e 2).

Tabela 2 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da densidade de comprimento de raízes finas (cm cm^{-3}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS.

	Prof. (cm)	Monolitos (cm cm^{-3})			Média	Desvio-padrão	CV (%)
		A	B	C			
Pinus	**Serapilheira**	2,09	1,97	2,67	2,24 a[1]	0,37	16,67
	0 - 10	2,58	1,92	2,68	2,39 a	0,41	17,26
	10 - 20	1,74	1,34	0,77	1,28 b	0,49	38,12
	20 - 30	1,07	0,81	0,84	0,90 b	0,14	15,86
	30 - 40	0,40	0,59	0,76	0,58 b	0,18	30,92
Campo	**0 - 10**	6,89	7,32	8,09	7,43 a	0,61	8,17
	10 - 20	5,57	3,90	5,50	4,99 b	0,94	18,91
	20 - 30	2,74	3,93	1,85	2,84 bc	1,04	36,78
	30 - 40	2,06	2,99	1,23	2,09 c	0,88	41,92

(1) Médias nas diferentes profundidades no *Pinus* e no campo, seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de erro.

A densidade de raízes finas pode ser um fator relacionado com a característica do genótipo das plantas, como também, está relacionada com o comportamento nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação às condições de estresse ambiental (MARTINS et al., 2004).

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que no povoamento de *Pinus* a maior densidade de raízes finas está concentrada na camada de serapilheira e no solo até 10 cm de profundidade, perfazendo 62,59 %. As camadas de 10 - 40 cm de profundidade não apresentaram diferença significativa, contudo ocorre uma considerável diminuição na densidade de raízes com o aumento da profundidade do solo. Cabe aqui salientar que na camada de serapilheira, que em média apresentou 7,33 cm, estão localizadas 30,30% da densidade de raízes finas, ou seja, praticamente o mesmo que a soma das camadas de 10 - 40 cm do solo.

A serapilheira é determinante na disposição superficial das raízes finas. Gaitán et al. (2005), trabalhando com raízes finas de *Eucalyptus globulus* ssp. maidenii, verificaram que a maior parte das raízes se encontram nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, onde acontece a ciclagem de nutrientes e as condições edáficas são mais favoráveis.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento dos povoamentos florestais, a serapilheira está praticamente ausente, condicionando o crescimento das raízes às camadas mais profundas do solo. Com o crescimento das árvores e o aumento na produção de serapilheira, o comportamento do sistema radicular muda e passa a explorar as camadas mais superficiais do solo, onde ocorre maior ciclagem de nutrientes, provindos especialmente da decomposição da serapilheira (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Os resultados do presente estudo assemelham-se aos obtidos por Ordinola et al. (2005) que avaliaram a biomassa e dinâmica de raízes em sistemas agroflorestais implantados em áreas de pastagens abandonadas na Amazônia central, onde foram encontradas maiores quantidades de raízes finas nos primeiros 10 cm de solo (60-84% do total de raízes).

4.2 Biomassa de raízes finas

No *Pinus* até a profundidade de 40 cm, foram contabilizados 3,51 Mg ha^{-1}, apenas na camada de 0 - 10 cm, o valor de biomassa chegou a 1,41 Mg ha^{-1}, diferindo estatisticamente das demais camadas do solo e da serapilheira. A área de campo apresentou 5,63 Mg ha^{-1}, ou seja, praticamente o dobro da biomassa de

raízes finas presente no *Pinus*. Desse total, mais da metade encontra-se na camada de 0 - 10 cm do solo, diferindo estatisticamente das demais camadas do solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da biomassa de raízes finas (kg ha^{-1}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo na região dos Campos de Cima da Serra, município de Cambará do Sul, RS.

Profundidade (cm)		Monolitos (kg ha^{-1})			Média	Desvio-padrão	CV (%)
		A	B	C			
Pinus	Serapilheira	505,74	763,97	1100,48	790,06 b[1]	298,23	37,75
	0 - 10	1518,80	1083,44	1634,46	1412,23 a	290,56	20,57
	10 - 20	809,52	532,13	524,11	621,92 b	162,52	26,13
	20 - 30	463,68	351,20	453,97	422,95 b	62,33	14,74
	30 - 40	150,82	282,46	372,98	268,75 b	111,71	41,57
	Total	3448,56	3013,20	4086,00	3515,92	539,56	15,35
Campo	0 - 10	2345,87	3369,73	3535,98	3083,86 a	644,50	20,90
	10 - 20	1490,24	1168,16	1401,25	1353,22 b	166,33	12,29
	20 - 30	689,23	980,26	536,29	735,26 b	225,53	30,67
	30 - 40	416,34	582,48	370,75	456,52 b	111,44	24,41
	Total	4941,68	6100,63	5844,27	5628,86	608,76	10,81

(1) Médias nas diferentes profundidades no *Pinus* e no campo, seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de erro.

Os resultados de biomassa estimados se assemelham com os dados obtidos por Witschoreck et al. (2003) que, em um estudo sobre estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* no município de Santa Maria-RS, encontraram, nos primeiros 30 cm de solo, a concentração de 72,8% da biomassa radicular média, indicando ser as raízes dessa espessura as principais responsáveis pelos processos de absorção de água e nutrientes. Vanninen; Mäkelä (1999) observaram em um povoamento de *Pinus sylvestris* com idade de 15 anos, no extremo sul da Finlândia, uma biomassa média de raízes finas de 2205 kg ha^{-1}, em sítios de média fertilidade com presença de 4 cm de serapilheira.

Schumacher et al. (2002b), em um estudo com *Araucaria angustifolia*, constataram que 53,4% da biomassa total de raízes finas encontravam-se na camada de 0 - 30 cm do solo, e ainda, que entre essas camadas houve uma distribuição mais uniforme do sistema radicular. Da mesma forma, Schumacher et al.

(2005), em um estudo com *Pinus taeda,* encontraram aproximadamente 84,6% da biomassa de raízes finas nos primeiros 30 cm de solo.

Lopes et al. (2006) constataram que grande parte da biomassa de raízes finas em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, na região central do Rio Grande do Sul, está concentrada nos primeiros 10 cm de solo com 1,79 Mg ha^{-1}, onde perfazem 65,9% da biomassa radicular média de raízes finas. Ao passo que, com o aumento da profundidade houve considerável redução na biomassa de raízes, em virtude de estar relacionada com a matéria orgânica, maior aeração e disponibilidade de nutrientes nas primeiras camadas de solo, assim como, o adensamento e presença de rochas nas camadas mais profundas.

A partir da análise das Tabelas 2 e 4, verifica-se que a densidade de comprimento presente na serapilheira do *Pinus* totaliza 30,30 % das raízes presentes em todo o perfil do solo, ao passo que a densidade de biomassa apresenta um valor de 27,85 %. A redução, nessa proporção, indica que as raízes presentes na serapilheira apresentam-se extremamente finas e adaptadas à retirada de nutrientes, disponibilizados pela serapilheira. Essa diferença entre o comprimento e a biomassa tende a cair com o aumento da profundidade do solo, apontando para a possibilidade dessas raízes apresentarem um pequeno acréscimo no diâmetro, quando comparadas com as raízes localizadas na camada de serapilheira, presente sobre o solo.

Segundo Schumacher; Hoppe (1997), a fitomassa depositada acima e abaixo da superfície do solo tem grande importância para a manutenção do equilíbrio do ciclo biogeoquímico, uma vez que as plantas absorvem os nutrientes do solo, produzem biomassa e a devolvem posteriormente ao solo em forma de serapilheira, sendo mineralizada, e novamente os nutrientes são absorvidos pelas raízes.

Silva (2007) amostrando raízes na entre linha de plantio em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* com 30 meses de idade, encontrou valores de densidade de raízes finas na profundidade de 0 - 10 cm próximos a respectivamente 0,7 g dm^{-3} e 0,4 g dm^{-3}; na profundidade de 10 - 30 cm, ocorreu uma redução no valor, ficando abaixo de 0,2 g dm^{-3}.

Na quantificação de raízes finas realizada por Silva et al. (2007), comparativamente entre pastagem e mata natural, a biomassa média anual das raízes finas foi 2,31 Mg ha^{-1} para gramíneas, 3,52 Mg ha^{-1} para mata, sendo estimado o aporte desses nutrientes ao solo, pela ação e renovação anual da maior

parte das raízes finas em 16,1 e 0,65 kg ha^{-1} para pastagem; 52,3 e 1,4 kg ha^{-1} para mata, até a profundidade de 0-15 cm.

Na Tabela 4, estão dispostos os valores da densidade de biomassa, nas diferentes profundidades do solo.

Tabela 4 - Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da densidade de biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. e campo, no município de Cambará do Sul, RS.

	Profundidade (cm)	Monolitos (g dm^{-3})			Média	Desvio-padrão	CV (%)
		A	B	C			
Pinus	**Serapilheira**	0,84	1,09	1,22	1,05 ab[1]	0,19	18,33
	0 - 10	1,52	1,08	1,63	1,41 a	0,29	20,57
	10 - 20	0,81	0,53	0,52	0,62 bc	0,16	26,13
	20 - 30	0,46	0,35	0,45	0,42 c	0,06	14,74
	30 - 40	0,15	0,28	0,37	0,27 c	0,11	41,57
Campo	**0 - 10**	2,35	3,37	3,54	3,08 a	0,64	20,90
	10 - 20	1,49	1,17	1,40	1,35 b	0,17	12,29
	20 - 30	0,69	0,98	0,54	0,74 b	0,23	30,67
	30 - 40	0,42	0,58	0,37	0,46 b	0,11	24,41

(1) Médias nas diferentes profundidades no *Pinus* e no campo, seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de erro.

A alta taxa de renovação de raízes finas consiste em uma estratégia adaptativa das árvores. Diversos estudos confirmam que os fatores que determinam o crescimento radicular são complexos e englobam condições ambientais, tanto da parte aérea como da subterrânea e principalmente uma forte influência genética. Nesse sentido, os mesmos autores constatam que em solos com baixa disponibilidade de água e nutrientes, as árvores tendem a produzir raízes mais longas, assim explorando um maior volume de solo num menor período de tempo (GONÇALVES; MELLO, 2005).

4.3 Relação das características químicas e físicas do solo com o comprimento e a biomassa de raízes finas, no povoamento de *Pinus* e na área de campo.

Dentre as características químicas do solo, as que apresentam maior relação com o crescimento radicular, estão a acidez e a deficiência de nutrientes. Solos com pH baixo, aumentam a solubilidade do alumínio causando toxidez e conseqüente limitação no crescimento das raízes. A maior parte das espécies lenhosas possuem relativa tolerância a solos ácidos. Espécies do gênero *Pinus*, possuem a capacidade de produzir extensos sistemas radiculares, especialmente em solos profundos e de textura grossa, são capazes de sobreviver a severas condições de falta de nutrientes e falta de água, pois através de seu sistema radicular, conseguem explorar um grande volume de solo, concentrando suas raízes nas camadas que apresentem melhores condições edáficas ao seu desenvolvimento (PRITCHETT,1990).

Na Tabela 5, são apresentados os valores de densidade e a caracterização textural do solo.

Tabela 5 - Densidade do solo e análise textural de amostras de solo das camadas de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm, obtidas no *Pinus taeda* L. e na área de campo adjacente, no município de Cambará do Sul, RS.

	Profundidade Cm	Areia		Silte	Argila	Classe Textural	Densidade do Solo (g cm^{-3})
		Grossa	Fina				
		----------(%)----------					
Pinus	0 - 10	7,7	2,0	36,3	54,3	Argiloso	0,97
	10 - 20	8,3	2,3	35,7	53,7		1,03
	20 - 30	11,7	2,7	34,7	51,7		1,23
	30 - 40	22,3	6,0	28,0	44,3		1,39
Campo	0 - 10	14,7	2,3	32,7	50,3	Argiloso	0,97
	10 - 20	14,7	2,7	31,3	51,7		1,06
	20 - 30	15,7	2,7	32,7	49,7		1,26
	30 - 40	19,0	4,0	21,7	55,7		1,34

Da mesma forma que o sistema radicular das plantas influenciam algumas características do solo, este por sua vez, apresenta profundos efeitos sobre a taxa de crescimento e desenvolvimento das raízes (PRITCHETT, 1990)

No solo, ocorre o desenvolvimento radicular. Nesse espaço, duas forças opostas determinam o incremento radicular, a impedância mecânica ou resistência à penetração e à pressão radicular. Esses dois fatores são determinantes no crescimento das raízes. Ambientes favoráveis à planta e ao sistema radicular proporcionarão um maior aumento das raízes (LIBARDI; LIER, 1999)

Aspecto muito interessante, a proporção de biomassa de madeira parece depender do tipo de solo e da densidade populacional. Reis et al. (1985) relatam que, em sítios de melhor qualidade, numa mesma região, a madeira constitui 60% da biomassa total, enquanto que em sítios de pior qualidade a madeira constitui apenas 45%. Conforme os autores, esta redução na proporção de biomassa na madeira pode ocorrer, principalmente, em razão da maior alocação de assimilados na produção de raízes.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados da análise química do solo, nas camadas de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm de profundidade. No geral o solo apresenta fertilidade baixa a muito baixa, cabe salientar que grande parte dos nutrientes no povoamento de pinus, estão imobilizados na biomassa aérea das árvores.

Tabela 6 - Análise química de amostras de solo das camadas de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm, obtidas no *Pinus taeda* L. e na área de campo adjacente, no município de Cambará do Sul.

	Profundidade Cm	MO	pH (H_2O)	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	P[1]	K[1]	Ca[2]	Mg[2]	M[3]	V[4]
		(%)		$cmol_c\ dm^{-3}$				$mg\ dm^{-3}$		$cmol_c\ dm^{-3}$		%	
Pinus	0 - 10	4,8	4,5	6,6	33,2	7,0	33,6	3,74	44,33	0,14	0,19	94,03	1,30
	10 - 20	5,1	4,5	5,7	34,5	6,0	34,7	2,19	27,00	0,06	0,13	95,67	0,73
	20 - 30	5,1	4,6	5,3	32,0	5,5	32,2	2,14	22,67	0,04	0,11	96,27	0,63
	30 - 40	3,2	4,6	5,6	27,5	5,8	27,6	1,78	13,33	0,05	0,08	97,30	0,50
Campo	0 - 10	7,7	4,6	6,5	38,8	8,4	40,7	3,50	122,67	0,83	0,73	77,60	4,63
	10 - 20	6,1	4,7	6,3	30,4	7,0	31,1	2,02	64,33	0,33	0,26	89,27	2,57
	20 - 30	4,5	4,8	5,6	31,2	6,1	28,3	1,54	33,33	0,20	0,15	92,87	1,63
	30 - 40	3,2	4,8	5,4	29,6	5,8	30,0	1,31	18,00	0,18	0,14	93,70	1,20

1 – P e K disponível; 2 – Ca, Mg trocáveis; 3 – saturação de alumínio; 4 – saturação de bases. Onde: extração do solo: P e K, solução Mehlich – 1; Ca e Mg, por solução de KCl (1mol L^{-1}).

Moreau (2007) constatou que, em solos com limitação na disponibilidade de nutrientes ou ainda pela menor capacidade de absorção desses nutrientes, devido ao maior grau de coesão do solo, as plantas adaptativamente tendem a investir no desenvolvimento de raízes finas.

Laclau et al. (2001) destacaram a importância da camada de serapilheira na retenção de umidade sobre sua superfície, especialmente durante as estações secas quando ocorrem chuvas de curta duração. Essa característica associada à alta densidade de raízes finas presentes nas camadas mais superficiais do solo, aumenta consideravelmente a habilidade da planta em absorver água e nutrientes.

Desta forma, Zahner (1957), estudando *Pinus taeda* e *palustris*, observou alta correlação entre o desenvolvimento das duas espécies e as características de textura do solo e declividade do terreno.

4.4 Análise de Componentes Principais (ACP) nas quatro profundidades do solo, no povoamento de *Pinus* e na área de campo

Para realização da ACP, foram utilizados os dados de densidade de raízes (Tabela 2), de biomassa de raízes (Tabela 3) e os dados referentes aos atributos físico-químicos do solo (Tabelas 5 e 6). As duas áreas em estudo foram analisadas separadamente, buscando-se um melhor entendimento dos resultados obtidos.

4.4.1 Análise de Componentes Principais (ACP) para o povoamento de *Pinus.*

Primeiramente, com a Análise Fatorial, verificam-se as relações entre as variáveis, definindo o grau de associação entre cada par de variáveis, tomando como base o coeficiente de correlação linear 0,7 (SOUZA; VICINI, 2005). Observando-se a matriz de correlação, disposta na Tabela 7, é possível verificar que ocorre um número representativo de valores superiores a 0,7, isso significa que a correlação entre as variáveis está de moderada a forte. Sendo assim, pode-se dizer que a grande maioria das variáveis estão interligadas umas às outras. As variáveis 2

(pH), 12 (V %), 14 (silte %), 15 (argila %) e 17 (biomassa) não apresentaram correlação significativa.

O critério de seleção das componentes principais, foi o de incluir somente aquelas componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1. Segundo Souza; Vicini (2005), esse critério tende a incluir poucas componentes quando o número de variáveis é inferior a vinte e, normalmente são selecionadas aquelas componentes que conseguem explicar uma variância acumulada em torno de 70%.

Tabela 7 - Resultado da matriz de correlação entre as variáveis analisadas no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS.

Var	*Pinus taeda* (0 - 40 cm de profundidade)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	-0,04	0,30	**0,87**[1]	0,34	**0,88**	0,23	**0,61**	0,33	0,51	**-0,61**	0,43	**-0,84**	0,08	**0,89**	0,27	0,23	-0,45
2		1	-0,57	-0,34	-0,54	-0,34	-0,08	-0,27	-0,20	-0,26	0,13	-0,22	0,18	0,21	-0,32	-0,39	-0,42	0,49
3			1	**0,62**	**0,99**	**0,63**	0,23	**0,60**	**0,65**	**0,68**	-0,54	**0,62**	-0,30	-0,33	0,56	0,25	0,25	-0,50
4				1	**0,62**	**1,00**	0,15	**0,59**	0,35	0,56	-0,56	0,43	**-0,76**	-0,15	**0,95**	0,26	0,22	-0,54
5					1	**0,64**	0,29	**0,68**	**0,72**	**0,76**	**-0,63**	**0,71**	-0,35	-0,28	0,57	0,29	0,29	-0,53
6						1	0,16	**0,61**	0,37	**0,58**	**-0,59**	0,45	**-0,77**	-0,14	**0,96**	0,27	0,23	-0,55
7							1	**0,65**	0,42	0,52	-0,57	**0,58**	-0,57	**0,58**	0,27	**0,76**	**0,81**	-0,50
8								1	**0,87**	**0,97**	**-0,97**	**0,96**	**-0,74**	0,27	**0,64**	**0,62**	**0,60**	**-0,61**
9									1	**0,93**	**-0,90**	**0,96**	-0,38	0,08	0,36	0,29	0,27	-0,42
10										1	**-0,97**	**0,98**	**-0,62**	0,15	**0,58**	0,48	0,46	-0,51
11											1	**-0,96**	**0,70**	-0,24	**-0,61**	-0,47	-0,44	0,51
12												1	-0,55	0,22	0,46	0,49	0,48	-0,50
13													1	-0,46	**-0,81**	-0,58	-0,55	**0,65**
14														1	-0,14	0,51	0,48	-0,43
15															1	0,31	0,30	-0,45
16																1	**0,98**	**-0,65**
17																	1	-0,56
18																		1

(1) – Correlação de Pearson ($p<0,05$). Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Gonçalves (1994) observou em *E. grandis* que alguns atributos da fertilidade do solo (pH, Ca, saturação de bases e de Al) relacionam-se com a densidade de raízes finas, acontecendo de maneira mais expressiva na camada de 0 - 10 cm do solo. O pH, Ca, saturação de bases correlacionam-se negativamente e a saturação de Al positivamente com o desenvolvimento radicular, ou seja, solos com melhor fertilidade, maior disponibilidade de bases e menor concentração de Al, resultaram em menor densidade de raízes. As boas relações obtidas entre as variáveis na

camada de 0 - 10 cm são atribuídas à maior atividade das raízes e à maior disponibilidade de nutrientes nessa camada do solo.

Através das variáveis iniciais, procedeu-se a seleção das componentes principais, que se resumiram aos quatro primeiros autovalores, representando valores iguais ou superiores a 70% da variância total observada entre os dados originais. Os demais componentes não fizeram parte do modelo, pois resultaram em pouca informação com relação à variância total. Observa-se, através da Tabela 8, que apenas os dois primeiros componentes resultaram em uma explicação de mais de 70% da variabilidade total acumulada.

Tabela 8 - Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas, no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos Componentes Principais			
	Autovalor	% da variância	Autovalores	% da variância
1	9,84	54,69	9,84	54,69
2	2,99	16,63	12,84	71,32
3	2,13	11,82	14,97	83,14
4	1,66	9,22	16,62	92,36

Tomando-se os primeiros 4 componentes, que juntos sintetizam mais de 70% da variância total, na Tabela 9, verifica-se a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, assim como a contribuição de cada grupo de variáveis em relação a cada fator.

A primeira principal componente, responde por 54,69% da variabilidade total das variáveis originais, englobando, em ordem decrescente de importância, as variáveis: 8>10>11>12>13>6>15>5>4>9>18>3>1. As variáveis formadoras do fator 1 que apresentam maior representatividade são: K, Mg, m, V.

A segunda principal componente, responde por 16,63% da variabilidade total das variáveis originas, englobando a variável 14, ou seja, silte.

A contribuição de cada uma das variáveis permite uma análise da relação existente entre as duas componentes principais, uma vez que ambas explicam, mais da metade (71,32%) da variabilidade total.

De forma geral, a maior contribuição das variáveis originais para com os quatro fatores explicativos da variância total, situaram-se nos fatores 1 e 2. A partir

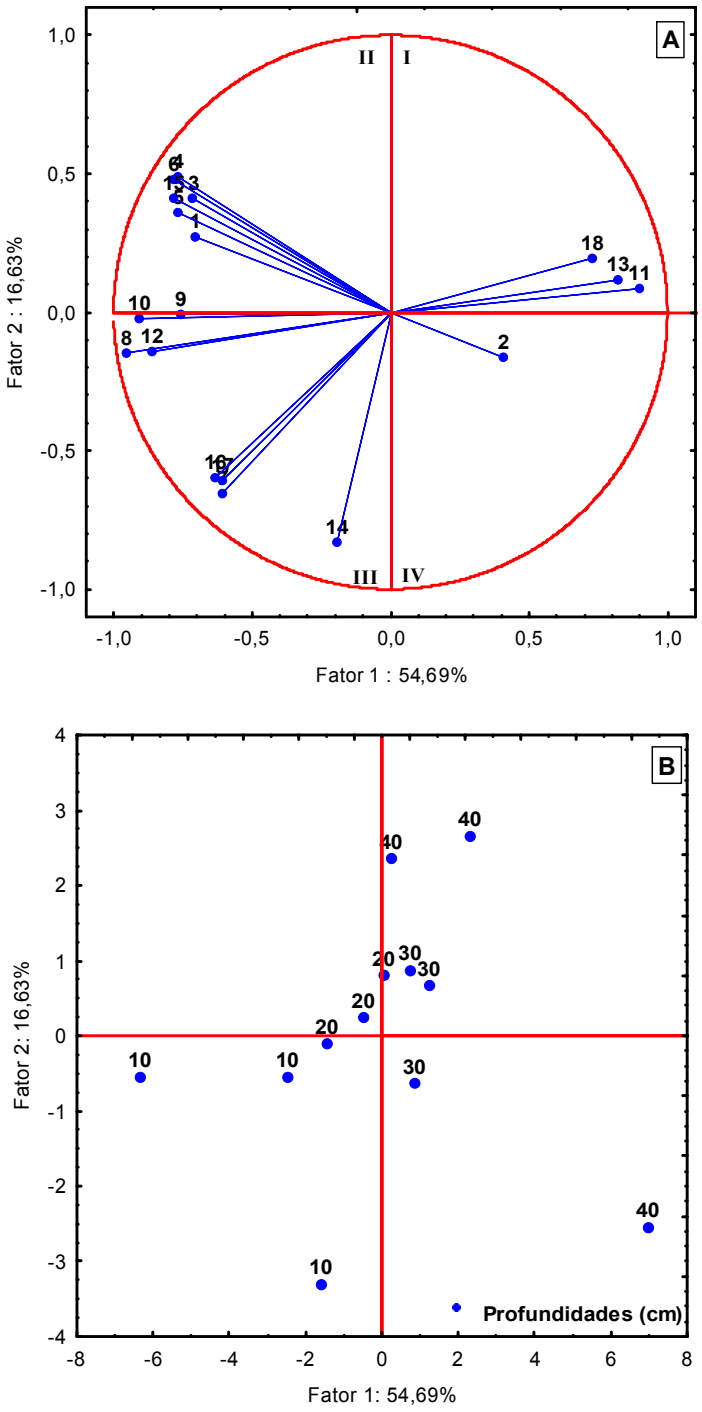
da Figura 8, tem-se uma melhor visualização dos fatores selecionados na análise, apresentados no gráfico de distribuição da nuvem de variáveis, que mostra a localização delas no sistema de coordenadas, criado pelos fatores 1 e 2, pois são eles que explicam a maior parte da variabilidade total existente.

Tabela 9 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores considerados na análise, no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS.

Variável	Contribuição da variável no Componente Principal (>0,7)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1	**-0,7069**[1]	0,2723	0,5593	0,2621
2	0,4081	-0,1646	0,1757	**0,7848**
3	**-0,7143**	0,4107	-0,4043	-0,2851
4	**-0,7695**	0,4905	0,3916	-0,0430
5	**-0,7697**	0,3605	-0,4190	-0,2168
6	**-0,7862**	0,4802	0,3723	-0,0334
7	-0,6085	-0,6526	-0,0012	-0,0240
8	**-0,9533**	-0,1471	-0,1434	0,1856
9	**-0,7602**	-0,0078	-0,5458	0,3099
10	**-0,9085**	-0,0209	-0,3124	0,2312
11	**0,8994**	0,0842	0,1764	-0,3678
12	**-0,8633**	-0,1408	-0,3955	0,2632
13	**0,8206**	0,1189	-0,5158	-0,1082
14	-0,1928	**-0,8332**	0,2787	0,1726
15	**-0,7856**	0,4136	0,4037	0,0019
16	-0,6330	-0,6001	0,1194	-0,3752
17	-0,6108	-0,6077	0,0882	-0,3986
18	**0,7256**	0,1952	-0,1463	0,3360
Proporção da Variância	0,546877	0,166281	0,118242	0,092158

(1) Valores grifados maiores que 0,7. Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Através da sobreposição das Figuras 8 A e B verifica-se que as variáveis localizadas nos quadrantes II e III estão correlacionadas de maneira mais expressiva com as profundidades iniciais do solo, ou seja, até 20 cm.



Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Figura 8 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, no povoamento de *Pinus,* no município Cambará do Sul, RS (B).

Na Figura 9, está a representação do gráfico da nuvem de variáveis, no círculo de correlações. Com a análise do gráfico, é possível verificar o comportamento das variáveis comprimento e biomassa de raízes finas do *Pinus* e sua relação com as demais variáveis inerentes ao solo.

Como se pode observar, na Figura 9, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras, oque demonstra que elas possuem a mesma representatividade no gráfico. Quanto mais próximas as variáveis estão do círculo unitário, maior é a contribuição delas, em relação às variáveis que estão mais afastadas.

As variáveis que estão mais correlacionadas ao comprimento e à biomassa de raízes são as que estão localizadas nos quadrantes I e IV, destacando-se principalmente as variáveis 7, 8, 12, 10 e 9 (P, K, V, Mg e Ca). Através da interpretação da Tabela 2, verifica-se, conforme CFQS-RS/SC (2004), que os níveis para todos esses componentes são considerados muito baixos.

Nos Campos de Cima da Serra, onde se situa Cambará do Sul, ocorre o predomínio de solos com baixa fertilidade natural, elevada acidez, alto teor de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, em especial do fósforo (CQFS – RS/SC, 2004). Em povoamentos de *E. grandis*, as concentrações de N, P, K, Ca e Mg presentes nas raízes finas diminuíram das camadas superiores para as mais inferiores do solo, pronunciando assim, uma relação direta e negativa da composição química das raízes com o nível de fertilidade nas diferentes camadas do solo (GONÇALVES, 1994).

Corrêa et al. (2007), pesquisando áreas de povoamento espontâneo de *Pinus* spp. com baixa disponibilidade de nutrientes, baixa retenção de umidade, ausência de material orgânico e altas temperaturas nas camadas iniciais do solo, verificaram que mesmo com esses aspectos desfavoráveis ao desenvolvimento radicular, a espécie apresentou um bom desenvolvimento, externando sua alta capacidade de adaptação a condições adversas e a outras espécies florestais.

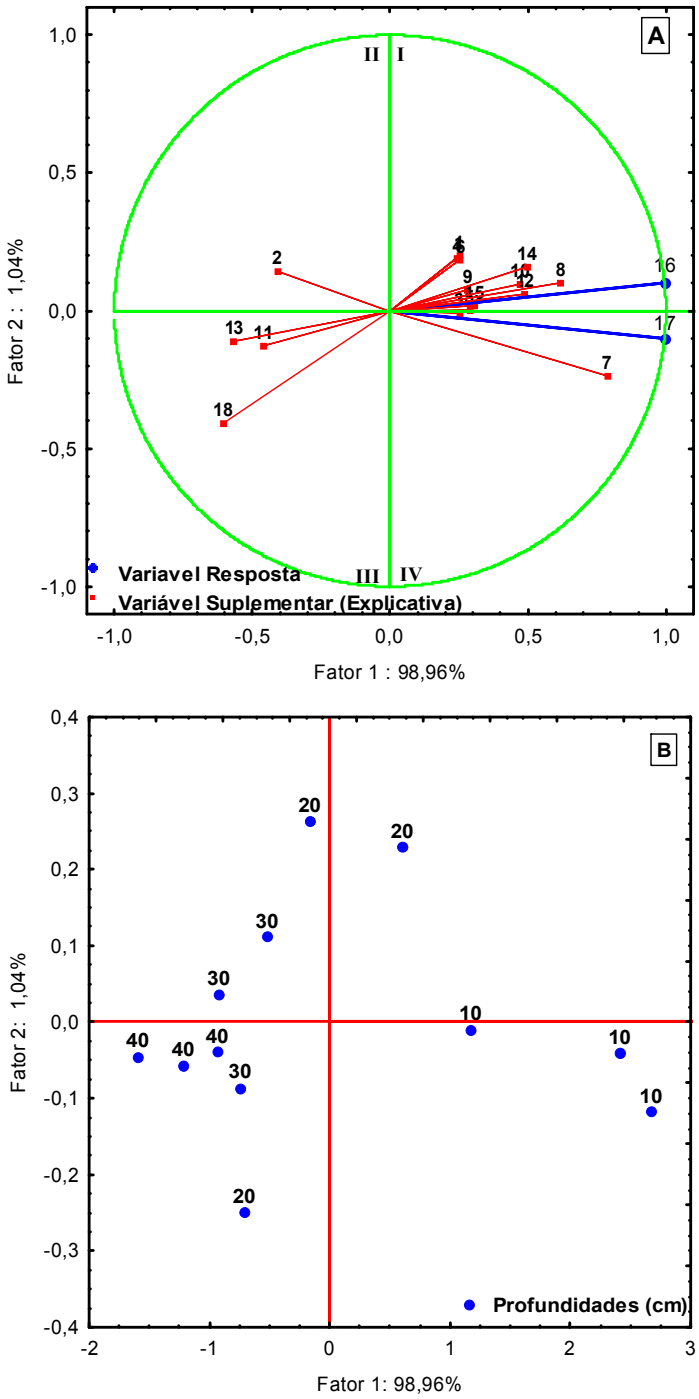
Simões et al. (1978), analisando o desenvolvimento de plantas de *Pinus taeda* com 8 meses de idade, observaram que as mudas cultivadas com fertilização composta pela aplicação de 100 g de N-P-K apresentaram um aumento no peso seco 17 vezes maior do que o peso das testemunhas, cultivadas sem fertilização. O peso seco de raízes passou de 1,31 g para mais de 22 g com a utilização da fertilização.

Reis et al. (1985) e Gonçalves, (1994), relatam que quanto mais produtivo for o sítio menos desenvolvido será o sistema de raízes finas de absorção. Ao contrário, quando o sítio é pouco produtivo, as plantas, para atenderem a suas demandas nutricionais, precisam de um sistema radicular de absorção mais efetivo (maior área superficial), capaz de absorver, em quantidade e qualidade, os nutrientes do solo.

Diversos estudos demonstram que se deve considerar a importância da fertilização e irrigação na distribuição, qualidade das raízes e no rendimento energético para seu crescimento. Isso fica claro em áreas de produção com diferentes disponibilidades de umidade, onde as plantas apresentam respostas diferenciadas na produção de raízes finas (FREITAS et al., 2008).

Outro aspecto importante é verificado realizando-se a sobreposição das Figuras 9 A e B. Percebe-se que as variáveis presentes nos quadrantes I e IV estão intimamente correlacionadas com as camadas mais superficiais do solo, principalmente de 0-10 cm de profundidade, já as variáveis presentes nos quadrantes II e III apresentam maior influência sobre as camadas mais profundas do solo (20 - 40 cm).

Morales et al. (2007), relacionando parâmetros químicos do solo em diferentes sítios com a produção de *Pinus taeda*, verificaram que os maiores coeficientes de correlação observados para a camada de 0 a 20 cm se devem à grande quantidade de raízes que crescem nessa camada e contribuem para o crescimento dessa espécie. As camadas mais profundas do solo podem exercer maior influência em períodos mais secos, quando a umidade nas camadas mais superficiais fica mais restrita. Os mesmos autores observaram a existência de relação significativa dos teores de Ca^{2+} e K^{+}, da soma e saturação por bases e da saturação por alumínio com o crescimento do *Pinus taeda.* Essas esta relação fica mais evidenciada nas camadas mais superficiais do solo.



Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Figura 9 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo como variáveis explicativas e o comprimento e a biomassa de raízes como variável resposta (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, no povoamento de *Pinus,* no município Cambará do Sul, RS (B).

4.4.2 Análise de Componentes Principais (ACP) para a área de campo

Da mesma forma que para o *Pinus*, utilizou-se da ACP para explicar as correlações existentes entre as variáveis iniciais e descrever seu comportamento, principalmente com relação ao comportamento das raízes finas.

Para realização da ACP na área de campo, foram utilizados os dados referentes ao campo como: densidade de raízes (Tabela 2), de biomassa de raízes (Tabela 3) e os dados referentes aos atributos físico-químicos do solo (Tabelas 5 e 6).

Analisando a matriz de correlação, disposta na Tabela 10, é possível verificar que ocorre um número representativo de valores superiores a 0,7, oque significa que a correlação entre as variáveis está de moderada à forte. Sendo assim, pode-se dizer que a grande maioria das variáveis está interligada umas às outras.

Tabela 10 - Resultado da matriz de correlação entre as variáveis analisadas na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS.

Var	Campo 0 - 40 cm de profundidade																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	**0,87²**	**0,86**	**0,67**	**0,89**	**0,75**	**0,81**	**0,86**	**0,82**	**0,74**	**-0,79**	**0,73**	-0,51	**0,66**	-0,24	**0,83**	**0,81**	**-0,73**
2		1	**-0,66**	**-0,81**	**-0,75**	**-0,81**	**-0,77**	**-0,78**	**-0,73**	**-0,69**	**0,74**	**-0,59**	0,44	-0,56	0,18	**-0,80**	**-0,80**	0,48
3			1	**0,62**	**0,92**	**0,68**	**0,70**	**0,76**	**0,74**	**0,69**	**-0,68**	**0,66**	-0,30	0,44	-0,26	**0,74**	**0,66**	**-0,78**
4				1	**0,60**	**0,90**	0,52	0,48	0,54	0,48	-0,47	0,28	-0,24	0,36	-0,19	0,49	0,53	-0,41
5					1	**0,70**	**0,85**	**0,94**	**0,95**	**0,92**	**-0,92**	**0,88**	-0,27	0,39	-0,24	**0,87**	**0,83**	**-0,77**
6						1	**0,70**	**0,63**	**0,67**	**0,60**	**-0,60**	0,41	-0,19	0,30	-0,17	**0,64**	**0,66**	-0,56
7							1	**0,93**	**0,86**	**0,82**	**-0,88**	**0,80**	-0,22	0,46	-0,40	**0,93**	**0,98**	**-0,76**
8								1	**0,95**	**0,94**	**-0,97**	**0,94**	-0,26	0,42	-0,30	**0,94**	**0,93**	**-0,75**
9									1	**0,98**	**-0,98**	**0,94**	-0,24	0,32	-0,17	**0,84**	**0,86**	**-0,67**
10										1	**-0,99**	**0,96**	-0,16	0,23	-0,17	**0,83**	**0,83**	**-0,61**
11											1	**-0,97**	0,22	-0,32	0,21	**-0,88**	**-0,90**	**0,66**
12												1	-0,21	0,31	-0,21	**0,83**	**0,82**	**-0,65**
13													1	**-0,80**	-0,35	-0,13	-0,21	-0,05
14														1	-0,27	0,38	0,44	-0,32
15															1	-0,44	-0,41	**0,62**
16																1	**0,95**	**-0,77**
17																	1	**-0,75**
18																		1

(1) – Correlação de Pearson ($p<0,05$). Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

A seleção das componentes principais seguiu o mesmo critério utilizado anteriormente, ou seja, o de incluir somente aquelas componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1. A seleção das componentes principais, resumiu-se aos quatro primeiros autovalores, representando valores iguais ou superiores a 70,0% da variância total observada entre os dados originais. Os demais componentes não fizeram parte do modelo, pois resultaram em pouca informação com relação à variância total. Os dois primeiros componentes resultaram em uma explicação de 78,70 % da variabilidade total acumulada (Tabela 11).

Tabela 11 - Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS.

Número de componentes	Autovalores campo			
	Extração dos Componentes Principais			
	Autovalor	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada
1	12,19078	67,72656	12,19078	67,72656
2	1,97497	10,97208	14,16576	78,69864
3	1,41169	7,84270	15,57744	86,54134
4	1,18060	6,55889	16,75804	93,10023

Na Tabela 12, verifica-se a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, assim como a contribuição de cada grupo de variáveis em relação a cada fator.

A primeira componente, responde por 67,73% da variabilidade total das variáveis originais, englobando, em ordem decrescente de importância, as variáveis: 8>5>9>11>7>17>16>1>10>12>2>3>18>6. As cinco variáveis formadoras do fator 1 que apresentam maior representatividade são: K, CTC efet., Ca, m, P.

Nesse sentido, Gonçalves; Mello (2005) constataram que a toxidez por Al condiciona a um aumento do peso das raízes sem implicar uma melhor distribuição no volume do solo.

Nabinger (2008) comparando os efeitos da adubação do campo e de métodos de pastejo, verificaram que com a utilização do pastoreio rotacionado houve um aumento no crescimento da pastagem de cerca de 10%. Mas a grande resposta foi à aplicação de fósforo que permitiu aumentos da ordem de 70% em relação à não-fertilização, destacando a importância no suprimento de nutrientes às plantas.

Tabela 12 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores considerados na análise, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS.

Variável	Contribuição da variável no Componente Principal (>0,7)*			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1	**-0,92978**[1]	0,265686	-0,079408	0,054347
2	**0,85638**	-0,321976	0,129518	0,178643
3	**-0,84056**	0,081470	-0,130539	-0,038279
4	-0,64919	0,321140	-0,422598	-0,494986
5	**-0,96205**	-0,042329	0,096397	-0,062775
6	**-0,75815**	0,183072	-0,321502	-0,487177
7	**-0,93583**	-0,098759	-0,035710	0,091008
8	**-0,97101**	-0,112629	0,166760	0,083278
9	**-0,94048**	-0,100126	0,255237	-0,100091
10	**-0,90438**	-0,189045	0,320382	-0,111601
11	**0,93719**	0,152425	-0,283640	0,021953
12	**-0,86947**	-0,220197	0,393340	0,146131
13	0,30625	**-0,873927**	-0,245764	-0,273157
14	-0,49720	0,632506	-0,194829	0,544283
15	0,33411	0,450132	0,667150	-0,419505
16	**-0,93325**	-0,185317	-0,036073	0,081692
17	**-0,93519**	-0,112686	-0,018171	0,096145
18	**0,78173**	0,319763	0,321246	-0,188912
Proporção da Variância	0,67727	0,109721	0,078427	0,065589

(1) Valores grifados maiores que 0,7. Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

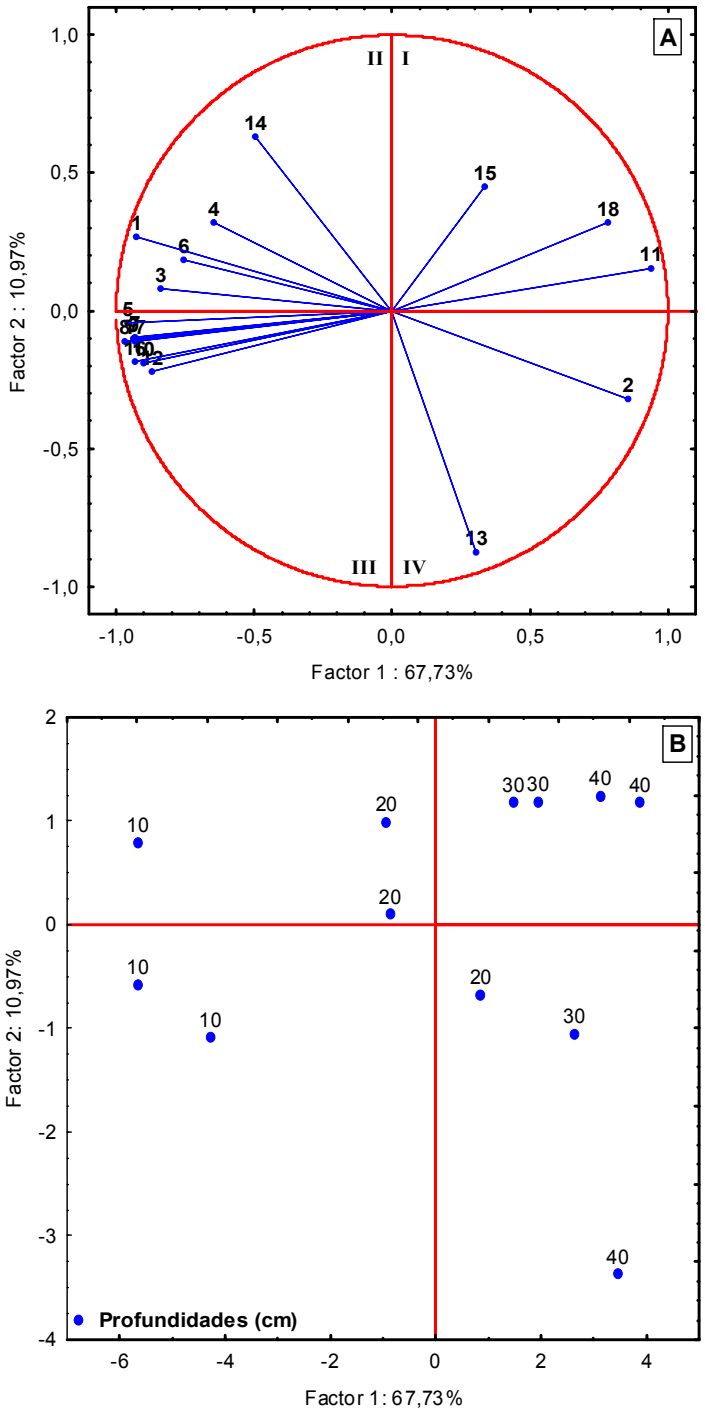
As árvores apresentam a capacidade de produzir raízes novas em altas taxas, retranslocando nutrientes acumulados em outras partes da planta. Assim, em épocas com boas condições hídricas e de temperatura do solo, a produção de raízes finas tende a ser estimulada, suportando as taxas de crescimento da parte aérea. Ao contrário, plantas de ciclo de vida curto, como as culturas anuais, apresentam um desenvolvimento radicular coordenado principalmente pelas fases de crescimento vegetativo até a colheita (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Em solos sob pastagem sem queima há 22 anos, na região dos Campos de Cima da Serra, os teores de Ca, Mg, K, Mn e Zn na camada superficial são superiores aos observados na mesma camada dos solos sob *Pinus*. Esse efeito se manifesta principalmente na superfície, e os valores decrescem gradativamente com a profundidade. Já no *Pinus,* os valores tendem a ser uniformes ao longo do perfil do solo (DICK et al., 2007). Cabe aqui destacar a importância da ciclagem de nutrientes no *Pinus,* especialmente considerando-se que a biomassa produzida acima do solo é extremamente superior à produzida pelo campo, com isso, uma grande quantidade de nutrientes absorvidos do solo, fica retida no ciclo bioquímico da árvore. No caso do K, Ca, e Mg do solo que aparecem em teores no pinus, inferiores ao campo, grande parte dos elementos encontra-se retida na biomassa e mesmo na serapilheira.

A segunda principal componente, responde por 10,97% da variabilidade total das variáveis originas, englobando a variável 13 ou seja, areia.

As duas primeiras componentes principais, explicam mais da metade (78,70%) da variabilidade total.

A maior contribuição das variáveis originais para com os quatro fatores explicativos da variância total, situa-se principalmente no fator 1. Com a utilização da Figura 10, tem-se uma melhor visualização dos fatores selecionados na análise. Esses são apresentados no gráfico de distribuição da nuvem de variáveis, que mostra a localização das variáveis no sistema de coordenadas criado pelos fatores 1 e 2, pois são eles que explicam a maior parte da variabilidade total existente.



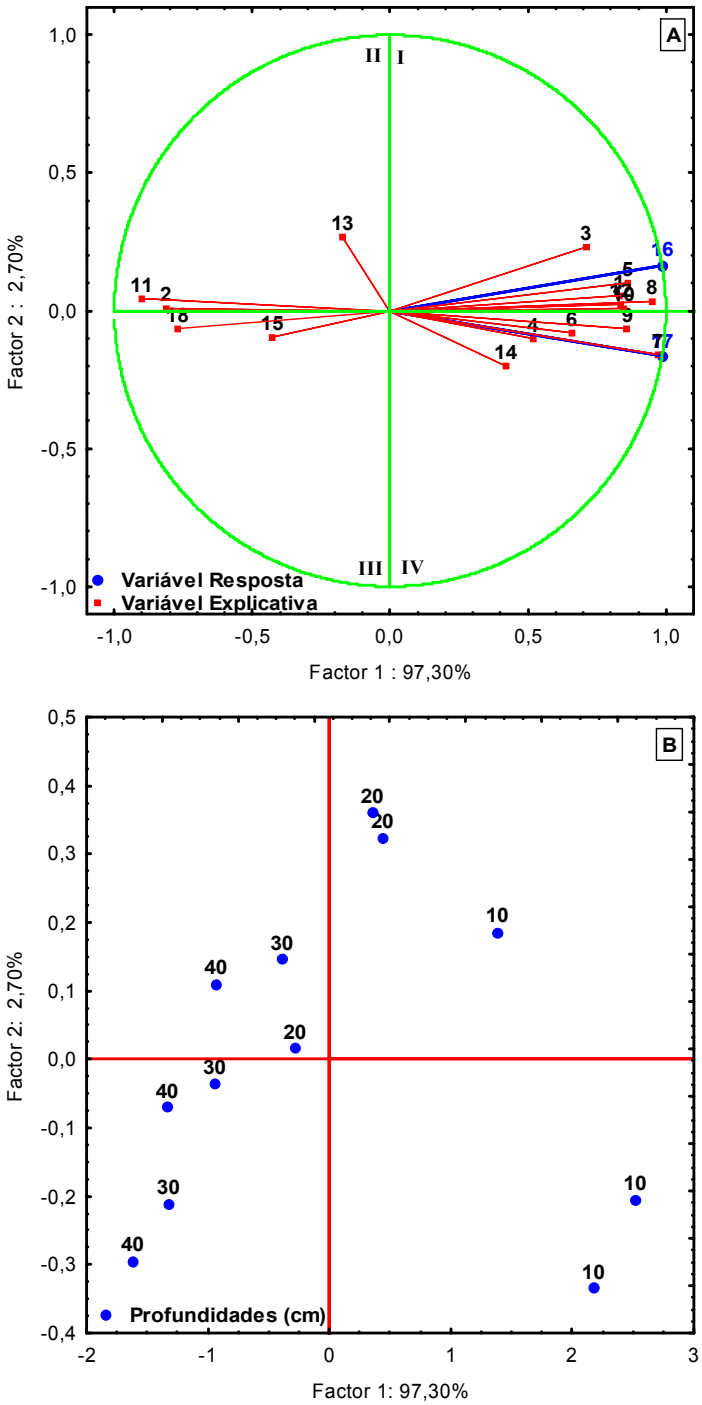
Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Figura 10 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS (B).

Sobrepondo as Figuras 10 A e B, percebe-se que as variáveis fixadas nos quadrantes II e III estão correlacionadas de maneira mais expressiva com a profundidade de 10 cm do solo e em menor grau com a profundidade de 20 cm do solo.

Na Figura 11, está a representação da nuvem de variáveis, no círculo de correlações. É possível verificar o comportamento das variáveis comprimento e biomassa de raízes finas do campo e sua relação com as demais variáveis inerentes ao solo. Algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras, isso demonstra que elas possuem a mesma representatividade no gráfico. Quanto mais próximas as variáveis estão do círculo unitário, maior é a contribuição delas, em relação às variáveis que estão mais afastadas.

As variáveis que estão mais correlacionadas ao comprimento e biomassa de raízes são as que estão localizadas nos quadrantes I e IV, destacando-se principalmente as variáveis 7, 8, 9, 10 e 12 (P, K, Ca, Mg e V). Outro aspecto importante é verificado através da sobreposição das Figuras 11 A e B, variáveis presentes nos quadrantes I e IV estão intimamente correlacionadas com as camadas mais superficiais do solo, principalmente de 0 - 10 cm de profundidade. Já as variáveis presentes nos quadrantes II e III, apresentam maior influência sobre as camadas mais profundas do solo (20 - 40 cm).



Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

Figura 11 - Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo como variáveis explicativas e o comprimento e a biomassa de raízes como variável resposta (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS (B).

5 CONCLUSÕES

O comprimento total médio de raízes finas no povoamento de *Pinus taeda* L., no perfil de 40 cm do solo, incluindo-se a camada de serapilheira, foi de 68412 km ha^{-1}. A maior parte dessas raízes se concentrou nos primeiros 20 cm de profundidade e na serapilheira (78,28%), não diferindo estatisticamente nessas três camadas. Com o aumento da profundidade até 40 cm, ocorre uma diminução gradativa no comprimento de raízes.

Na área de campo, o comprimento total médio de raízes finas, no perfil de 40 cm do solo, foi de 173550 km ha^{-1}, 42,82% (74313 km ha^{-1}) desse comprimento localiza-se na camada de 0 - 10 cm de profundidade. As camadas de 20 a 40 cm não diferiram estatisticamente e apresentam juntas 28,84% do total de raízes presentes no perfil do solo.

A maior densidade no comprimento de raízes finas está concentrada na camada de serapilheira do *Pinus* e no solo até 10 cm de profundidade, perfazendo 62,59 %. As camadas de 10 - 40 cm de profundidade não apresentaram diferença significativa, contudo ocorre uma considerável diminuição na densidade de raízes com o aumento da profundidade do solo. A densidade de raízes no campo é 234,28% maior do que no *Pinus,* destacando-se a camada de 0 - 10 cm, onde ocorreu a maior diferença.

No *Pinus* foram contabilizados 3515,92 kg ha^{-1}, sendo que, apenas na camada de 0 - 10 cm o valor de biomassa chegou a 1412,23 kg ha^{-1}, diferindo estatisticamente das demais camadas do solo e da serapilheira. A área de campo apresentou 5628,86 kg ha^{-1}, ou seja, praticamente o dobro da biomassa de raízes finas presente no *Pinus*. Desse total, mais da metade encontra-se na camada de 0 - 10 cm do solo, diferindo estatisticamente das demais camadas do solo.

Na duas áreas, as condições químicas do solo apresentaram maior correlação com o comportamento do comprimento e biomassa de raízes. No *Pinus,* destacam-se como principais fatores o P>K>V>Mg>Ca, por outro lado, na área de campo destacam-se P>K>Ca>Mg>V.

A grande presença de raízes finas na serapilheira do *Pinus taeda*, destaca a importância dessa camada no processo de ciclagem, disponibilização de nutrientes e água. Após a colheita florestal, deve-se manter a camada de serapilheira e dos resíduos produzidos durante essa atividade, visando à manutenção do potencial produtivo do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2007. Brasília, 90 p., 2008.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas.** 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal.** Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.

ATKINSON, D. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. **Plant and Soil**, v. 71, p. 23-35, 1983.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil: guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas**. 1. Ed Porto Alegre: Serafinense, 2004. 204 p.

BARRA, O. S. V. Experiências do Chile em estudos de carbono. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds) **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. p. 237-250.

BERTONI, J.; NETO, F.L. **Conservação do Solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

BÖHM, W. **Methods of studying roots systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.

BRACK, P. et al. **Levantamento preliminar da flora e da vegetação do vale do rio Pelotas, no município de Bom Jesus, RS.** Disponível em: (http://www.inga.org.br/docs/levantamento_preliminar_vegetacao_paiquere.pdf**)** > Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades** dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica DNPEA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRUM, E. T. **Relação entre a altura dominante e fatores de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC**. 1979. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CECONI, D. E. et al. Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta**, Curitiba. v. 38, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2008.

CQFS – RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

CORRÊA, R. S. et al. Povoamento espontâneo de *Pinus* spp. em áreas de empréstimo no Estado do Paraná – 1. Análise de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

DEMATTÊ, J. L. I. Characteristics of Brazilian soils related to root growth. In: **The soil root system in relation to Brazilian Agriculture**, Londrina. 1981, 372 p.

DICK, D. P.; LEITE, S. B.; DALMOLIN, R. S. D. Impacto da introdução de *Pinus* nas características químicas e na composição da matéria orgânica de Neossolos de Campos de Cima da Serra, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. 16. ed. São Paulo: E. Blücher 2002. 293 p.

FEE. Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: (http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Cambar%E1+do+Sul) > Acesso em: 15 de outubro de 2008.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, jan./mar. 2008.

GAITÁN, J. J.; PERÓN, E. A.; COSTA, M. C. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. Maidenii y su relación con algunas propiedades del suelo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 33-41, 2005.

GONÇALVES, J. L. M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, 1994, 84 p. (Tese livre docência).

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 221-267.

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

GOOGLE Earth Beta (v4.0.25XX), **Imagem de Cambará do Sul**, 2005. Disponível em: http://earth.google.com/. Acesso em: 05/12/2008.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Oitavo Distrito de Meteorologia (8° DISME). Seção de observação e meteorologia aplicada – SEMA. Porto Alegre, Relatório n° 027/2008, protocolado sob n° 4294, 24/03/2008, 4p.

JACKSON, D. S.; GLIFORD, H. H. Environmental variables influencing the increment of *Pinus radiata* periodic volume increment. **New Zealand Forest Journal**, v. 4, n. 1, p. 3-36, 1974.

KAHN, F. Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale dense humide. **Candollea**, v. 32, n. 2, p. 321-358, 1977.

KÖNIG, F. G. et al. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria - RS. **Revista Árvore**, Viçosa. v. 26, n. 4, p. 429-435, 2002.

KÖNIG, F. G. et al. Raízes finas (< 2 mm) na serapilheira acumulada sobre o solo em um povoamento de *Pinus taeda* L., em Cambará do Sul, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 3., 2004,

Manaus. **Anais...** Manaus, INPA, 2004. p. 27-27.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; REINALDO, H. P. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.160 p.

LACLAU, J. P. et al. Spatial distribution of *Eucapyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**. v. 21, p.129-136, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos, Rima, 2000. 531 p.

LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: WORKSHOP SOBRE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 1999. 300 p.

LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Passo Fundo-RS.** 1997. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LOPES, V. G. et al. Quantificação da biomassa de raízes de uma Floresta Estacional Decidual na região de Itaara – RS – Brasil. In: Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, 12. 2006, Eldorado, Argentina. **Anais...** 1 CD ROOM, 2006.

LOPES, V. G., GRIEBELER, C.; SCHUMACHER, M. V.; **Biomassa e comprimento de raízes finas (< 2,0 mm) na serapilheira de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara - RS.** In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 4., 2008, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008. 1 CD ROOM.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Nova Odessa, 2003. 384 p.

MAGALHÃES, L. M. S.; BLUM, W. E. H. Distribuição radicular de espécies florestais plantadas na região de Manaus, Amazônia. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p. 93-103, jan./dez., 2000.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 158 p., 1996.

MARCHIORI, J. N. C. Considerações terminológicas sobre os campos sulinos. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 24, p. 139-150, 2002.

MARTINS, L. F. da S. et al. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. v. 65, p. 207-218, jun. 2004.

MENEZES, M. C. Dinâmica da biomassa e dos nutrientes nas raízes em ecossistemas de floresta nativa e plantios de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. 2002. 58 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.

MONTAGNA, R.G.; YAMAZOC, G. Utilização da madeira de pequenas dimensões. **Silvicultura**, São Paulo, v.2, n.14, p.178-179,1978.

MORALES, C. A. S. et al. Relação dos parâmetros químicos do solo em diferentes sítios com a produção de *Pinus taeda*, no Planalto Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Distribuição de biomassa de raízes de eucalipto em solos coesos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 41p.

NABINGER, C. **Manejo de campo nativo na região sul e a viabilidade do uso de modelos**. Disponível em: (http://www.urcamp.tche.br/ccr/pg/recursos/recursos/apostilarecursosgeneticos/Apostila%20Campos%20Nabinger.pdf) > Acesso em: 25 de dezembro de 2008**.**

NAVROSKI, M. C.; SCHUMACHER, M. V. **Quantificação do comprimento de raízes de uma Floresta Estacional Decidual na região de Itaara – RS – Brasil**: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais. 2007. (Relatório Técnico).

NOVAIS, R. F. F.; POGGIANI. F. **Deposição de Folhas e Nutrientes em Plantações Florestais Puras e Consorciadas de *Pinus* e *Liquidambar.*** IPEF, Piracicaba. n. 23, p.57-60, abr.1983.

ORDINOLA, J. L. E. G. et al. **Biomassa e dinâmica de raízes em Sistemas Agroflorestais Implantados em Áreas de Pastagens abandonadas da Amazônia Central**. Disponível em: http://www.lbaconferencia.org/cgi-bin/manaus_conf_2005/stud05_ab_press_report.pl. Acessado em: 04/08/2005.

PALLARÉS, O. R.; BERRETTA, E. J.; MARASCHIN, G. E. The South American Campos ecosystem. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS. S. G.;BATELLO, C. (Eds.) **Grasslands of the World.** Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em Florestas Nativas. In: GONÇALVES, J.L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba : IPEF, 2000. p. 287-308.

POLOMSKI, J.; KUHN, N. **Wurzelsysteme.** Bern, Stuttgart, Wien: Haupt, 1998. 290 p.

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 24, p. 119-138, jan./jun. 2002.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propriedades, conservación y mejoramiento.** Impresso no México, 1990. 634 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3. ed São Leopoldo: UNISINOS, 1994. 473 p.

RAVEN, H. P.; EVERT, F. R.; EICHHORN, E. S. **Biologia vegetal**. 6.ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906p.

REICHERT, J. M. ; SUZUKI, L. E. A. S. ; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 5 Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista árvore**, Viçosa. v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, Piracicaba, 1999. **Anais...** Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 1999, p. 8-15.

SAINJU, U. M.; GOOD, R. E. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pinelands forests. **Plant and Soil**, v. 150, p. 87-97, 1993.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics.** New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds) **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. p. 119-140.

SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda* L. no 2º Planalto Paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias,** v. 9, p. 107-111, 1987.

SEITZ, R. A. Silvicultura, arte e ciência. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 20, p. 35-43, 2000.

SILVA, E. V. Desenvolvimento de raiz fina em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acácia mangium.* 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, V. F.; OLIVEIRA, F. F.; SALCEDO, I. H. Comprimento e teores de N e P em raízes finas de pastagem, mata e reflorestamento In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

SIMÕES, J. W. et al. **Adaptabilidade de espécies florestais de rápido crescimento em solo alterado pela exploração de xisto.** IPEF, Piracicaba, n.16, p.1-15, jun. 1978.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS, 2006. 526 p.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: Simpósio sobre Ecossistemas Naturais do MERCOSUL: O ambiente da Floresta, 1., 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996.

SCHUMACHER, M. V. e HOPPE, J. M. **A complexidade dos Ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 50p.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* De Wild. plantadas no estado do Rio Grande do Sul-Brasil. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds) **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: UFPR, 2002 a. p. 141-152.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; BARBIERI, S. J. Quantificação da serapilheira e dos nutrients em um povoamento de *Araucária angustifólia* (Bert.) O. Ktze na região de Quedas do Iguaçu/PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2., 2002 b, Viçosa. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1 CD ROOM.

SCHUMACHER, M. V. ; WITSCHORECK, Rudi ; PISSININ, Lucas Zancan ; VIERA, Márcio ; BONACINA, Darlan Michel ; BARBIERI, Joabel . **Comprimento e biomassa de raízes finas em uma floresta de *Pinus taeda* L. localizada em Cambará do Sul, RS.** Santa Maria, RS: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais, 2005. (Relatório Técnico).

SCHUMACHER, M.V.; MEIRA, J. L.; LOPES, V. G. **Avaliação do sistema radicular do *Eucalyptus* sp. em solos arenosos na metade sul do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais, 2007. (Relatório Técnico).

SCHUMACHER, M.V. **Comunicação Pessoal.** 2009.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise Multivariada: da Teoria à Prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, Caderno Didático, 2005, 215p.

STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com. 2004.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed, revisada e ampliada, Porto alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008, 222 p.

TAYLOR, C. J. **Introdução à silvicultura tropical**. São Paulo: E. Blücher, 1969. 201 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em Florestas Secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

UTHSCSA. ***Image Tool* for Windows *version 3.00***. University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

VANNINEN, P. e MÄKELÄ, A Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland. **Tree Physiology**, v.19, p. 823-830, 1999.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica Organografia**. 4. ed, Viçosa: UFV, 2000, 124 p.

VIERA, M. **Comunicação Pessoal**. 2008.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002, 265p.

WEST, P. W. **Growing Plantation Forests**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 304p.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.

ZAHNER, R. Mapping soil for pine site quality in South Arkansas and North Louisiana. **Jornal Forestal**, v. 55, n. 6, p. 430-433, 1957.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Fotos da coleta de raízes finas no povoamento de *Pinus taeda* L. e na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS.

APÊNDICE B - Fotos do processo de quantificação do comprimento e da biomassa das raízes finas coletadas, no povoamento de *Pinus taeda* L. e na área de campo, no município de Cambará do Sul, RS.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo